



**IPNI**  
INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

INSTITUTO INTERNACIONAL  
DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

WWW.IPNI.NET

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR



MARZO  
2008

## CONTENIDO

- BIOCOMBUSTIBLES, SEGURIDAD ALIMENTARIA E INTENSIFICACIÓN ECOLÓGICA
- MATERIA ORGÁNICA Y BALANCE DE CARBONO
- FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN *DIGITARIA*
- MUESTREO DE SUELOS
- ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

**ARCHIVO AGRONÓMICO # 12**  
REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES  
II. HORTALIZAS, FRUTALES Y FORRAJERAS

## BIOCOMBUSTIBLES, SEGURIDAD ALIMENTARIA E INTENSIFICACIÓN ECOLÓGICA DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

*Kenneth G. Cassman*

*Director del Centro de Investigación en Ciencias Energéticas, y  
Heuermann Profesor de Agronomía, Universidad de Nebraska, Lincoln, EE.UU.  
kcassman1@unl.edu*

*Presentado en el XV Congreso de AAPRESID 2007, Rosario, Argentina, 14-17 Agosto.*

### Introducción

En la actualidad, la agricultura está atravesando una revolución de biocombustibles, que ninguno podría haber predicho hace dos años atrás. El rápido crecimiento económico en los países más poblados a nivel mundial, la inestabilidad política en regiones con grandes reservas de petróleo, y los huracanes que dañaron gran parte de la infraestructura de producción y refinamiento de petróleo de los EE.UU. fueron causas combinadas que determinaron un abrupto incremento en los precios de la energía basada en el combustible fósil.

En respuesta, el Congreso de EE.UU. dictó en el año 2005 la ley de "Seguridad Energética" que incrementará la producción anual de biocombustibles a una capacidad de producción de alrededor de 30 billones de litros para el año 2012 y, provee de un generoso incentivo en impuestos a la industria del etanol. A nivel local, los estados y las comunidades

rurales están también proveyendo incentivos para la atracción de inversiones en nuevas plantas de biocombustibles- especialmente en el cinturón maicero



Cultivo de maíz en ensayo de sistemas de fertilización de la EEA INTA Parana. Febrero 2006.

Director: Dr. Fernando O. García

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS  
PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

Av. Santa Fe 910

(B1641ABO) Acassuso – Argentina

Tel/Fax (54) (011) 4798-9939

E-mail: fgarcia@ipni.net

Sitio Web: [www.ipni.net](http://www.ipni.net)



Propietario: Potash and Phosphate  
Institute of Canada (PPIC)

ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual 222581

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

Diseño e Impresión: [www.agroeditorial.com.ar](http://www.agroeditorial.com.ar)  
[amatthiess@amatthiess.com.ar](mailto:amatthiess@amatthiess.com.ar)

## Contenido:

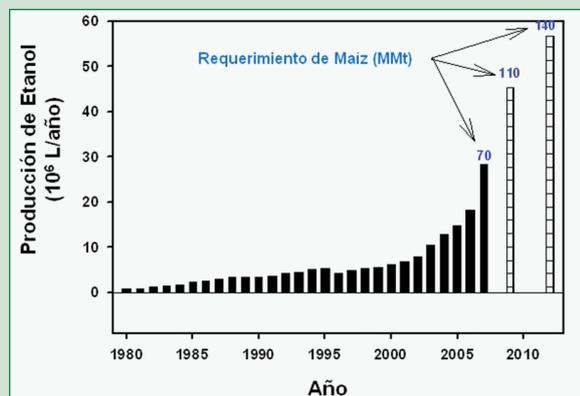
Biocombustibles, seguridad alimentaria e intensificación ecológica de los sistemas agrícolas	1
Compartimentos de la materia orgánica y balance de carbono en experimentos sobre sistemas de manejo de suelos de larga duración	9
Efecto de la fertilización nitrogenada en digitaria ( <i>Digitaria eriantha</i> Steudel)	12
¿Cuántas submuestras de suelo hay que tomar para caracterizar la fertilidad de un lote en la Pampa Ondulada?	17
Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento de maíz y el balance de nutrientes en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Campaña 2006/07	20
Publicaciones de IPNI	23
Congresos, Cursos y Simposios	24

## Archivo Agronómico N° 12:

**Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios**

de los EE.UU. En adición a estos incentivos, el elevado precio de la gasolina derivada de petróleo hace a la producción de etanol, a partir del grano de maíz (llamado maíz-etanol), altamente beneficioso, lo cual ayuda también a atraer grandes cantidades de capital para nuevas inversiones que puedan soportar el rápido crecimiento de la capacidad de producción de biocombustibles. Como resultado, la capacidad de producción de etanol de los EE.UU. excede, en gran medida, todas las proyecciones y podría alcanzar un volumen superior a los 46 billones de litros por año en el 2009 y, como objetivo en el 2012, alcanzar los 58 billones de litros (Fig. 1).

Los elevados precios del petróleo y las políticas gu-



**Figura 1.** Producción de etanol de EE.UU. y requerimiento de grano de maíz para su producción. Los valores para el año 2009 están basados en la capacidad existente y bajo construcción. Los valores para el año 2012 tienen en consideración subsidio continuo y precios del petróleo > US\$50/bbl.

bernamentales favorables también contribuyen a la expansión del biocombustibles en otros países con adecuados recursos de agua y suelo para soportar el crecimiento en producción. Ejemplos significativos son la producción de etanol a base de caña de azúcar en Brasil y de biodiesel a base de palma aceitera en Indonesia y Malasia. En cada uno de estos casos, la producción de biocombustible utiliza cultivos que pueden ser utilizados para la alimentación humana. Como resultado, el precio de los commodities como maíz, caña de azúcar y aceites vegetales se ha incrementado drásticamente. Los productores han respondido a los precios elevados incrementando las áreas sembradas con cultivos para destino de biocombustibles. En los EE.UU. existe un espacio pequeño para que se produzca un incremento del área agrícola total, situación por la cual se ha producido un dramático cambio de soja y algodón por el cultivo de maíz. El reporte del USDA del 29 de Junio de 2007 estimó que la superficie plantada con el cultivo de maíz en el año 2007 se incrementó en un 19% (+5.9 Mha) comparado con la situación del año 2006, mientras que la superficie del algodón y soja descendió un 15% (4.6 Mha) y 28% (1.71 Mha), respectivamente (<http://www.nass.usda.gov/index.asp>). Es de esperar un incremento substancial en el área de sembradío de caña de azúcar en Brasil, y de palma aceitera en Indonesia y Malasia.

Estas respuestas marcan la primera fase de la revolución del biocombustible, que probablemente continúe en el futuro cercano si el precio del petróleo se mantiene elevado o se incrementa aun más. La característica más notable de esta revolución es que el precio de los cultivos para la alimentación

humana, que pueden también ser utilizados para la producción de biocombustibles, va a ser determinado por el contenido en “conversión a energía”, en vez de su valor como alimento humano o para el ganado (CAST, 2006). Este cambio marcado en la valuación de la agricultura presenta varios temas críticos concernientes al impacto de la seguridad alimentaria global- especialmente para los sectores urbanos y rurales en los países de bajos ingresos- y los efectos en la calidad del ambiente, protección de los recursos naturales, y cambio climático. Estos temas van a ser considerados en las secciones posteriores, seguido por una discusión acerca de las necesidades de reenfoque de las investigaciones en agricultura a nivel nacional e internacional para asegurarse que la revolución de los biocombustibles no comprometa la seguridad alimentaria o los servicios ambientales.

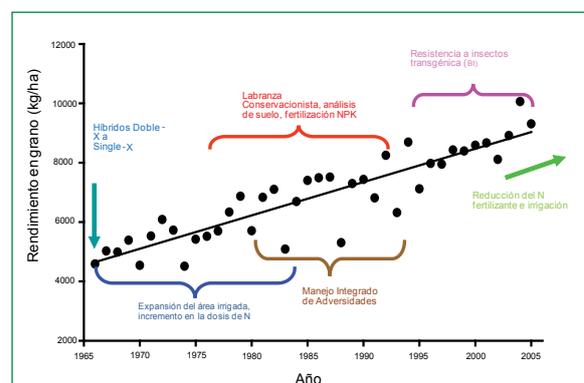
### Alimentos vs. Combustibles

Existe un debate considerable acerca del potencial para satisfacer las ambiciosas producciones de biocombustibles sin causar un excesivo aumento en el precio de los alimentos- en EE.UU. y a nivel global. Estas preocupaciones son mayores considerando que los EE.UU. produce el 40% de la producción global de maíz y cerca del 60% de las exportaciones de maíz a nivel mundial. De la misma manera, Indonesia y Malasia producen el 88% de la producción global de palma aceitera, el cual es el aceite vegetal de menos costo de los mercados mundiales. Sin embargo, las asociaciones de cultivos “commodities” y la industria de la semilla mantienen una visión optimista en cuanto a que los productores puedan fácilmente lograr estos objetivos. Por ejemplo, la Asociación de Productores de Maíz de los EE.UU. (NCGA) cree que será posible producir suficiente maíz para abastecer la demanda anual de la producción de etanol de 58 billones en el año 2015, y abastecer la demanda a nivel mundial para la producción y la exportación de alimentos (NCGA, 2006). La NCGA sostiene su proyección asumiendo una mayor expansión de la superficie con maíz y un aumento del doble de la tasa de crecimiento de los rendimientos del cultivo de maíz, considerando la línea histórica de tendencia de 40 años de crecimiento de la producción de este cultivo. El área del cultivo se incrementó cerca de 6.0 Mha en la campaña agrícola 2007, pero va a ser muy difícil el crecimiento futuro en área agrícola sin incrementar los precios de otros cultivos commodities tales como la soja y algodón o sin convertir las áreas marginales del Programa de Conservación de Reservas (CRP) para la producción de maíz. De hecho, los precios del cultivo de soja se han incrementado marcadamente en los últimos meses, siendo difícil pensar en un futuro cambio significativo del cultivo de soja por maíz. Realizando un pronóstico optimista de las tendencias futuras en los rendimientos del cultivo de maíz, la

NCGA confía en las proyecciones realizadas por los ejecutivos de la industria de las semillas. Por ejemplo, el Dr. Robert Fraley, Jefe de Tecnología de Monsanto, sugiere que el crecimiento de los rendimientos del cultivo de maíz se encuentra en un carril acelerado debido al impacto de la biotecnología y el mejoramiento molecular en los híbridos, especialmente con la estabilidad de los rendimientos en condiciones de sequía. El Dr. Fraley es citado por la NCGA estimando que la tasa de crecimiento de los rendimientos del cultivo de maíz se duplicaran o triplicaran y que los rindes “promedio” en los EE.UU. pueden alcanzar 16-19 tn/ha dentro de una generación (<http://www.ncga.com/news/OurView/pdf/2006/FoodANDFuel.pdf>), lo cual requiere una tasa exponencial de crecimiento anual de 2.3% en los rendimientos del cultivo de maíz. La pregunta es si estas proyecciones optimistas se alcanzan y como.

De hecho, la tendencia histórica de 40 años de los rendimientos de maíz es lineal, no exponencial, y se ha mantenido con un crecimiento anual de 112 kg/ha desde la década de los 60' (Fig. 2). Esta tasa de aumento representa solamente el 1.2% de la tasa de aumento relativo comparado con la línea de tendencia hasta el 2005, de 9.2 ton/ha. Debido a que los aumentos de rendimiento fueron incrementándose en forma lineal, la tasa relativa de ganancia decreció a través del tiempo como promedio de los incrementos en rendimientos. Por lo tanto, para que se cumpla la predicción de Fraley del 2.3% de tasa exponencial de incremento, se requiere de un abrupto salto en la tasa de ganancia de rendimientos y una aceleración constante del crecimiento de las productividades a través del tiempo.

Un poderoso set de innovaciones científicas y tecnológicas sostiene la tendencia lineal de incremento en los rendimientos del cultivo de maíz en los EE.UU. desde mediados de la década del 60's (Fig. 2). Nuevos métodos de mejoramiento, la expansión del



**Figura 2.** Tendencia de los rendimientos del cultivo de maíz en los EE.UU. a partir de 1966-2005 y las innovaciones tecnológicas que contribuyeron a los avances en rendimiento. La tasa de ganancia es de 112 kg/ha/año ( $R^2 = 0.80$ ). Modificado a partir de CAST, 2006.

área bajo riego, análisis de suelo y fertilización balanceada- incluyendo ambos macro y micronutrientes, labranza conservacionista, y un manejo integrado de plagas, malezas y enfermedades fueron dando fuerza a las innovaciones de los primeros 30 años en esta serie de tiempo. Maíces resistentes a insectos ("Bt"), cultivos transgénicos producidos mediante la ingeniería genética (GMO), fueron introducidos a mediados de la década de los 90's. Sin embargo, las inversiones de cientos de millones de dólares en genómica e ingeniería genética financiada por sectores públicos y privados, ha tenido un impacto adicional pequeño en los rendimientos de los híbridos de maíz. Más aún, algunos científicos discuten que es improbable que la ingeniería genética pudiera tener un impacto futuro substancial en características complejas tales como el rendimiento potencial o la resistencia a la sequía, basados en la premisa que la evolución ya ha optimizado tales características y que el mejoramiento convencional puede acceder a estas características en los germoplasmas existentes (Denison et al., 2003). Aunque los grupos de cultivos commodities y los ejecutivos de grandes compañías de semillas como Monsanto anuncian que el crecimiento del rendimiento del cultivo de maíz se está acelerando, no existe evidencia publicada en trabajos de revisión científica para substanciar estas declaraciones y explicar las razones de esta "aceleración". Igualmente preocupante es, el hecho que estas proyecciones optimistas han tenido una gran influencia en las prioridades de investigación para el Departamento de Agricultura (USDA) y el Departamento de Energía de los EE.UU. (DOE), como así también en las prioridades de préstamos del Banco Mundial y el CGIAR (Centro de Investigación Internacional en Agricultura) como el CIMMYT. Por ejemplo, mientras el USDA y el DOE están aumentando los fondos para investigación en genómica e ingeniería química para mejorar la conversión de biomasa celulósica a etanol, en la actualidad no existen fondos para acelerar la tasa de ganancia de los rendimientos de los cultivos, y realizar esto de manera que sea ecológicamente sustentable. Sin una aceleración en la tasa de crecimiento de los rendimientos, será muy difícil alcanzar la producción anual de 58 billones de litros de etanol para el año 2012 (Fig. 1), sin producir como consecuencia un gran incremento en los precios del maíz y un impacto asociado en los precios de los alimentos- especialmente carne y productos ganaderos. A pesar del optimismo de autoridades y ejecutivos de la industria de la semilla, es más probable que el rendimiento del cultivo se mantenga en el crecimiento lineal actual dentro de los próximos 10 años, sin un aumento substancial en los fondos destinados a investigación focalizados en identificar los factores limitantes del rendimiento del cultivo y buscar prácticas innovadoras de manejo del suelo y del cultivo, para garantizar la utilización de métodos ambientalmente sustentables.

Aunque la transición de la producción de etanol a partir de biomasa celulósica, no utilizada para alimentación, es una opción promisoría para reducir la intensidad de competencia entre los combustibles y alimentos, el desarrollo de una tecnología adecuada en la producción de biomasa, cosecha, transporte, almacenaje y la conversión a etanol, precisan al menos 7-10 años para una comercialización en gran escala. Mientras tanto, la capacidad de producción de biocombustibles a partir de cultivos alimenticios crecerá rápidamente. Por lo tanto, un tema clave es si la productividad puede crecer lo suficientemente rápido para alcanzar la demanda global de alimentos, alimentar, y generar combustible sin provocar impactos ambientales negativos.

### **Sostenibilidad ambiental de los sistemas de biocombustibles**

Las preocupaciones ambientales primarias acerca del rápido crecimiento global de la producción de los biocombustibles incluyen: (i) la presión para expandir el área de cultivo a zonas marginales o ecosistemas nativos tales como bosques tropicales y humedales, (ii) el impacto neto en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y (iii) la baja eficiencia energética de algunos sistemas de biocombustibles, y en el caso de maíz-etanol, la afirmación que se requiere una mayor energía de ingreso ("input") que la energía de salida ("output"). Si estas preocupaciones no se pueden tratar con eficacia, el apoyo público para la industria de los biocombustibles es probable que decrezca marcadamente y las políticas favorables del gobierno en el apoyo a la expansión de las industrias de biocombustibles podrían ser eliminadas.

### **Expansión de la producción del cultivo**

La clave para evitar la presión sobre el recurso es acelerar la ganancia de rendimiento de los cultivos y focalizar el área de expansión de los cultivos para biocombustibles como el maíz, soja y caña de azúcar, en regiones que tengan adecuadas reservas de suelo y clima óptimos para soportar la expansión sin generar impactos ambientales negativos. En un escenario posible, los EE.UU. podría focalizarse en la producción del cultivo de maíz a expensas del área de soja, lo cual podría proteger la conversión de tierras marginales (CRP), mientras que Brasil y Argentina podrían balancear esta reducción en producción de soja incrementando la superficie de cultivo. Esta opción reconoce el hecho que actualmente los rendimientos promedio de maíz de los EE.UU. son alrededor de 3 veces superiores al promedio de rendimiento en Brasil y un 26% mayor con respecto a la Argentina (Tabla 1). En contraste, los rendimientos del cultivo de soja son más comparables. Es también notable que la cantidad de maíz necesario para la producción

anticipada de etanol de EE.UU. en el año 2012 (140 MMt, Fig. 1), es 2.5 superior a las cantidades totales producidas actualmente por Brasil y Argentina. Esta estrategia requiere de un incremento de sistemas de producción de maíz continuo en los EE.UU., los cuales serán más susceptibles a problemas de insectos y requerirán dosis de fertilizante N superiores para sostener rendimientos altos. Aun con elevadas dosis de N, existe una disminución de rendimiento de cerca de 600 kg/ha en rotaciones con maíz continuo comparadas con rotaciones de maíz seguidos con soja, lo cual podría decrecer el rendimiento promedio de los maíces de EE.UU. Si bien Brasil es bendecido con largas reservas de tierras aptas aun no cultivadas para la producción de soja, la expansión en gran escala podría darse a expensas de los bosques tropicales, asociado con la deforestación en el Amazonas, con un impacto negativo en la biodiversidad y el cambio climático (Soares-Filho et al., 2006; Zhang et al., 2001). Se requieren políticas efectivas para asegurar una adecuada cantidad de zonas de bosque nativo a lo largo de los ríos y entre los mismos para interceptar los nutrientes lixiviados a partir de los sistemas agrícolas, como así también generar políticas de conservación para proteger largas cantidades de bosques tropicales nativos como reservas de biodiversidad. Otra preocupación, es el costo variable de la producción de soja en Brasil que es muy alto comparado con los EE.UU. y Argentina debido al clima tropical y a suelos ácidos poco fértiles en áreas donde la expansión del cultivo de soja está ocurriendo, lo cual requiere grandes cantidades de fertilizantes, aplicación de calcáreo y pesticidas.

### **Impacto neto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la eficiencia energética**

Existe un largo cuerpo de evidencias que soporta la visión que los efectos netos del reemplazo del combustible derivado del petróleo con biocombustibles

resultaría en una reducción de las emisiones de los GEI y en un exceso neto de energía basado sobre las determinaciones del ciclo "campo al combustible" (Farrell et al. 2006; Hill et al., 2006). Una minoría de los investigadores concluye de otra manera (Patzek y Pimentel, 2005; Patzak, 2004). Los científicos que reportan un balance de energía neta negativo, utilizan datos sobre eficiencias y valores de "input" energéticos para la producción de cultivos y la conversión a etanol que se encuentran desactualizados. Asimismo, en el caso del maíz-etanol, estos científicos también fijan los límites, dentro de las mediciones del ciclo de vida, excluyendo un crédito de la energía por el uso del sub-producto de los granos destilados, como un reemplazo del maíz y la urea en las raciones del ganado vacuno. La mayoría de los ecologistas industriales estarían en desacuerdo con esta exclusión, debido a que ha habido un pequeño incremento en el número de cabezas de ganado, con respecto al gran incremento en la producción de etanol, por lo tanto un crédito de energía para el reemplazo de maíz y urea para alimentar el ganado es justificado.

En promedio, los ingresos de energía para la producción de maíz son cerca del 30% del total de energía utilizada en el ciclo de producción de maíz-etanol. La energía requerida para la producción de fertilizantes nitrogenados representa cerca del 50% del total de la energía utilizada en la producción de maíz. Por lo tanto, sistemas modernos de maíz que produzcan altos rendimientos con prácticas de manejo que incrementen la eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados contribuirían, en gran medida, a un mayor rendimiento total de etanol por unidad de superficie y una alta eficiencia energética en el ciclo de producción del etanol.

Del 70% del total de la energía del ciclo de producción utilizada en la planta de etanol, 70% es requerida para el procesamiento de granos, fermentación, y destilación, mientras que el remanente 30% es utilizado para el secado de los granos destilados (DDGS), sub-producto que puede ser fácilmente transportado

**Tabla 1.** Rendimientos de maíz y soja y producción total en Argentina, Brasil, EE.UU. y el mundo en los años 1966 y 2005, y la tasa de ganancia de rendimiento durante este período de tiempo.

País	1966		2005		% incremento/(tasa de ganancia) <sup>1</sup>	
	Maíz	Soja	Maíz	Soja	Maíz	Soja
	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )					
Argentina	2150	1160	7359	2729	242/(128)	135/(52)
Brasil	1307	1213	3040	2230	133/(43)	84/(25)
EE.UU.	4589	1709	9287	2839	102/(112)	66/(28)
Mundial	2210	1372	4929	2300	123/(68)	68/(23)
	Producción Total (MMt)				% incremento	
Argentina	7.04	0.018	20.45	38.30	190	212700
Brasil	11.37	0.595	35.11	51.18	209	8500
EE.UU.	105.86	25.270	282.31	85.04	167	237
Mundial	245.61	36.418	703.41	214.47	186	489

<sup>1</sup>Tasa de ganancia de rendimiento, 1966 a 2005, en kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

y almacenado para el uso de alimentación del ganado. Mientras la mayoría de plantas de etanol producen DDGS, un número creciente de las plantas de etanol se localizan en un radio de 80 km de los feedlots, donde los granos destilados pueden ser utilizados “húmedos”, lo cual evita la necesidad de secado y reduce la energía necesaria a utilizar por las plantas de etanol.

Estudios recientes de los requerimientos de energía, para ambos etanol y fertilizantes nitrogenados, indican que el costo energético para la producción de maíz y la conversión a etanol son más pequeños que los estimados previamente (Liska et al., 2007). Más aún, a medida que los rendimientos promedio de maíz se incrementan (Fig. 2), se deben actualizar estas mediciones de ciclo de producción, basadas previamente en rendimientos menores de maíz que los actualmente alcanzados por los productores de los EE.UU. Utilizando valores actualizados para ingresos de energía y rendimiento en un ciclo de producción de maíz-etanol de los EE.UU., se obtienen estimadores mayores de la eficiencia neta de energía y una mayor mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, que en los estudios previos (Tabla 2). Comparado con estimaciones previas de Farrell et al. (2006), por ejemplo, el cociente de energía neta de una planta de etanol promedio que produce DDGS se incrementó de 1.20 a 1.47, mientras que los rendimientos de etanol se incrementan en un 5%, y la mitigación de gases de efecto invernadero aumentó desde un 13% a un 51%. Si la planta de etanol produce granos destilados húmedos, la eficiencia energética y la mitigación de gases de efecto invernadero se incrementarían a 1.80 y 60%, respectivamente.

Rendimientos elevados de maíz y de eficiencia de uso de insumos resultan en una gran eficiencia neta de energía, rendimiento de etanol y mitigación de los GEI. En nuestro Proyecto de Secuestro de Carbono, por ejemplo, se alcanzaron rendimientos promedio

del cultivo de maíz de 13.7 t/ha en lote de producción de 65 ha, con una rotación anual de maíz-soja con riego por pivot (Verma et al., 2005). Utilizamos un programa de manejo de la fertilización nitrogenada basado en rendimientos objetivo, contenido de materia orgánica, análisis de nitratos residuales basado en un test a 1 metro de profundidad, y crédito de nitrógeno por el cultivo de soja previo (<http://soil-fertility.unl.edu/>). El N es aplicado en tres veces, con 2/3 aplicado antes de la siembra del cultivo y dos aplicaciones iguales divididas a V6 y V10 a través del sistema de riego por pivot. En estos sistemas, se realizan mediciones de la eficiencia del fertilizante nitrogenado que son 60% superiores al promedio alcanzado por los productores de los EE.UU. a niveles de rendimiento 33% menores que los alcanzados en este trabajo de investigación (Arkebauer et al., 2004). Además, se optimizó la eficiencia de riego utilizando un sistema de riego con pivot a baja presión, con riegos programados y el suministro de la cantidad precisa para reemplazar la cantidad de agua evapotranspirada. Debido a que cerca del 75% de todo el maíz de Nebraska es producido con riego y asumiendo que todos los productores de Nebraska adopten las prácticas de manejo progresivas utilizadas en nuestro Proyecto de Secuestro de Carbono, debería ocurrir un mejoramiento de la eficiencia neta de la energía, el rendimiento de etanol, y la mitigación de los GEI comparado con los valores promedio actualizados de EE.UU. para la situación con “granos destilados secos” (Tabla 2). De hecho, el rendimiento del etanol de los sistemas con prácticas progresivas podría compararse con el rendimiento de etanol obtenido a partir de la caña de azúcar en Brasil.

### Rol crítico de la intensificación ecológica

La intensificación ecológica de los sistemas de

**Tabla 2.** Análisis del ciclo de vida energético y mitigación de los gases de efecto invernadero para los sistemas basados en maíz-etanol según Farrell et al. (2006) y con los valores actualizados para los requerimientos de “input” energéticos, diferentes métodos de procesamiento del sub-producto, y sistemas de producción de maíz.

Fuente	Cociente de Energía Neta <sup>†</sup>	Rendimiento de Etanol <sup>†</sup>	Mitigación de los GEI <sup>†</sup>
	MJ/L	L/ha	%
Promedio de EE.UU., Farrell et al., 2006	1.20	3830	13
Promedio de EE.UU., BESS <sup>‡</sup> modelo actualizado, Granos destilados secos	1.47	4040	51
Promedio de EE.UU., BESS <sup>‡</sup> modelo actualizado, Granos destilados húmedos	1.80	4040	60
Maíz irrigado de Nebraska, BESS <sup>‡</sup> modelo actualizado, manejo del cultivo, Granos destilados húmedos	2.36	5964	73

<sup>†</sup>El cociente de energía neta es el cociente de energía de salida con relación a la energía de entrada al sistema, incluyendo un crédito de energía para utilizar en los sub-productos del etanol, granos destilados. El rendimiento del etanol se basa sobre los 435 L/t conversión de grano a etanol y el rendimiento de maíz promedio en EE.UU. de 8.75 t/ha dado por Farrell et al. (2006) versus la línea de tendencia del año 2005 de 9.29 t/ha estimada a partir de la Figura 2. La reducción de los GEI es relativa a la energía base equivalente de la gasolina derivada de la combustión del petróleo.

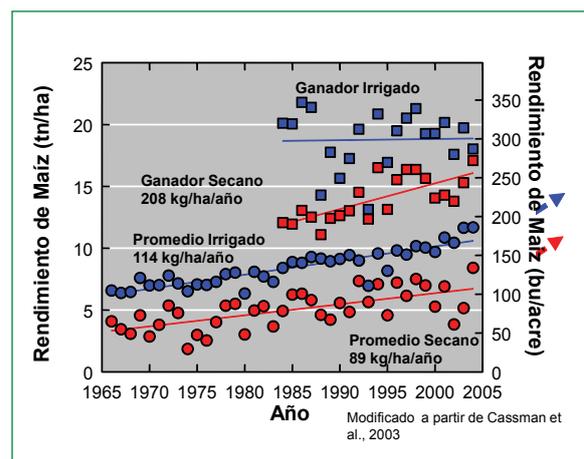
<sup>‡</sup>Basado sobre la determinación del ciclo de vida realizado por el Simulador de Sistema de Energía de Biocombustibles (Liska et al., 2007; disponible en [www.bess.unl.edu](http://www.bess.unl.edu)).

producción de cultivos provee un paso adelante para ayudar a aliviar la presión sobre los recursos globales, suelos y aguas, para satisfacer el aumento precipitado en la demanda por cultivos que puedan ser utilizados con destino de alimentos, alimentación y combustibles. La intensificación ecológica es una aproximación que busca cultivos que produzcan consistentemente cerca de sus potenciales de rendimiento genéticos bajo condiciones de riego, y cerca del rendimiento potencial limitado por agua en condiciones de secano, mientras que al mismo tiempo se provea a la protección de la calidad ambiental y la conservación de los recursos naturales (Cassman, 1999). Las características y los objetivos del sistema de intensificación ecológica incluyen:

- Rendimientos que alcancen consistentemente 85-90% del rendimiento genético potencial en sistemas irrigados, o del rendimiento potencial limitado por agua en sistemas de secano;
- Eficiencias de absorción de fertilizantes nitrogenados > 70% del N aplicado;
- Prácticas de manejo de suelo y residuos que mejoren la calidad del suelo, considerando las propiedades físicas, químicas y biológicas que soportan el crecimiento vegetal;
- Manejo integrado de plagas para minimizar el uso de pesticidas;
- Contribución neta a la reducción de los GEI basados en el análisis del ciclo de vida;
- En sistemas con riego: 90-95% eficiencia de uso del agua.

El rendimiento potencial es definido como el rendimiento que puede ser alcanzado con un híbrido adaptado o cultivar, cuando todos los posibles stress bióticos y abióticos han sido disminuidos o eliminados. Alcanzar el rendimiento potencial requiere un manejo de cultivo y de suelo perfectos, considerando la selección del híbrido o cultivar más apropiado para el ambiente y el tipo de suelo en particular, optimizando la fecha de plantación y la densidad de plantas, con un adecuado suministro y balance de todos los nutrientes esenciales, adecuada humedad disponible para el crecimiento del cultivo, y la eliminación de las pérdidas de rendimiento a partir de insectos, enfermedades y malezas. El rendimiento potencial en zonas de secano también debe presentar prácticas de manejo de cultivo y suelo adecuadas al ambiente, excepto por los contenidos de humedad del perfil que son determinados por la cantidad y la distribución de las precipitaciones de manera que el máximo rendimiento posible esta típicamente limitado por déficits de agua. Por ejemplo, mientras la línea de tendencia promedio para los cultivos de maíz irrigados obtenidos por los productores de Nebraska fue cerca de 11.2 t/ha, los ganadores de la competencia de rendimientos bajo riego prome-

diaron cerca de 20.0 t/ha (Fig. 3), lo cual significa que el rendimiento promedio fue tan sólo del 56% del rendimiento genético potencial. Existe también una brecha amplia entre el rendimiento promedio y el potencial en sistemas irrigados, como es estimado por la línea de tendencia con cultivos bajo riego. Un modelo de simulación de cultivos robusto y bien validado también provee una herramienta muy útil para la estimación de los rendimientos potenciales irrigados y limitados por agua (Yang et al., 2006). Sin embargo, es imposible para todos los productores lograr los mejores manejos del suelo y el cultivo perfecto. Esto se debe también por el bajo costo efectivo, debido a que los cultivos responden a los "inputs" tales como fertilizante o agua, disminuyendo la función de retorno a medida que el rendimiento se aproxima al techo de rendimiento potencial. Por lo tanto, los promedios de rendimientos más elevados que los productores de un país o una región pueden alcanzar son cerca del 85% de los rendimientos potenciales en sistemas irrigados o en secano. Cuando los rendimientos promedio se aproximan a este umbral del 85%, estos rendimientos se estancan, como si hubiesen tocado el techo de rendimiento potencial, lo cual ha ocurrido con los rendimientos promedio de arroz en Japón y en la mayor parte de China, y para el trigo en India (Cassman, 1999; Cassman et al., 2003). Utilizando la regla del 85%, los maíces irrigados de Nebraska no han explorado una brecha de rendimiento del 5.8 t/ha, entre los rendimientos promedio actuales (11.2 t/ha) y el 85% de rendimiento promedio potencial ( $\approx 20$  t/ha), que podría ser alcanzado mejorando el manejo del cultivo y del suelo; se debe considerar que en los sistemas de secano la brecha es también del mismo tamaño.



**Figura 3.** Tendencias de rendimiento en la competencia de altos rendimientos en Nebraska bajo riego y condiciones de secano según normas de la Asociación Nacional de Productores de Maíz, y tendencias en rendimiento promedio para condiciones irrigadas y de secano de los productores de Nebraska.

## Conclusiones

Inesperadamente hemos entrado en una nueva fase de la historia de la agricultura en la cual las tendencias a largo plazo de disminución de los precios reales para los productores de commodities desde la década de los 60's, ha sido abruptamente revertida debido a que nos encontramos en un mercado manejado por la demanda. El desafío es satisfacer este rápido y repentino incremento de la demanda, sin provocar destrucción de los bosques tropicales, humedales y pastizales remanentes, y asegurando la protección del ambiente. La intensificación ecológica de la agricultura provee un medio para alcanzar estos objetivos, pero hay muy pocos fondos económicos para soportar este tipo de investigación. Las inversiones en investigación proporcionadas por el sector público a nivel nacional y global están siendo focalizadas en determinaciones y entendimiento del impacto ambiental de la agricultura sin tener en consideración la productividad de los cultivos, y el sector privado ha enfatizado la productividad sin tener en cuenta el impacto ambiental. Estas tendencias deben cambiar y el cambio debe ser rápido con un substancial incremento en las inversiones para investigación focalizadas en la aceleración en la tasa de ganancia de rendimiento de los cultivos, como fue indicado en la Figura 3, y realizando esto de manera que decrezca el impacto de la agricultura sobre el ambiente. Se debe destacar también que el techo de rendimiento potencial de maíz (Duvick and Cassman, 1998) y arroz (Peng et al., 2000) no se ha incrementado en los últimos 30-40 años, sin embargo los mejoradores pueden mejorar la resistencia a los stress.

El sector agrícola se encuentra en una posición envidiable siendo un mercado dependiente de la oferta, por primera vez en muchas décadas. En gran parte, esta nueva era ha resultado de la convergencia de la energía y la agricultura. Evitando la escasez de alimentos y los incrementos excesivos de los precios de los alimentos a los consumidores, asegurando que la producción de cultivos para biocombustibles y alimentos no lleve a una degradación ambiental severa, y verificando que los sistemas de biocombustibles proporcionen los beneficios esperados de mitigación de los GEI y reemplazo del combustible en base de petróleo, son puntos críticos para la sostenibilidad de esta nueva era, sin provocar un sentimiento público negativo y políticas gubernamentales desfavorables que podrían abortar esta revolución antes de su comienzo.

## Referencias Bibliográficas

Arkebauer T., A. Dobermann, K. Cassman, R. Drijber, J. Lindquist, J. Specht, D. Walters y H. Yang. 2004. N-use efficiency improves in ecological intensification project. *Fluid Forum* 12(3): 17-19.

Cassman K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. National Acad. Sci. (USA)* 96: 5952-5959.

Cassman K.G., A. Dobermann, D.T. Walters y H. Yang. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Ann Rev Environ Resour* 28: 315-358.

Council for Agricultural Science and Technology (CAST). 2006. Convergence of Agriculture and Energy: Implications for Research and Policy. CAST Commentary QTA 2006-3. CAST, Ames, Iowa.

Denison R.F., T.E. Kiers y S.A. West. 2003. Darwinian agriculture: When can humans find solutions beyond the reach of natural selection? *Quart Rev Bio* 78:145-167.

Duvick D.N. y K.G. Cassman. 1999. Post-green-revolution trends in yield potential of temperate maize in the north-central United States. *Crop Sci.* 39:1622-1630.

Farrell A.E., R.J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare y D.A. Kammen. 2006. Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. *Science* 311:506-508. Hecht S.B. 2005. Soybeans, development, and conservation on the Amazon frontier. *Development and Change* 36:375-404.

Hill J., E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky y D. Tiffany. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biocombustibles and ethanol biofuels. *Proc Nat Acad Sci (USA)* 103:11206-11210.

Liska A.J., H.S. Yang, V. Bremer, W.T. Walters, D. Kenney, P. Tracy, G. Erickson, R. Koelsch, T. Klopfenstein y K.G. Cassman. 2007. Biofuel Energy Systems Simulator: LifeCycle Energy and Emissions Analysis Model for Corn-Ethanol Biofuel (ver. 1.0, 2007). University of Nebraska, www.bess.unl.edu.

National Corn Growers Association (NCGA). 2006. How much ethanol can come from corn? <http://www.ncga.com.v2.pdf> (26 October 2006).

Patzek T.W. 2004. Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle. *Critical Rev. Plant Sci.* 23:519-567.

Peng S., R.C. Laza, R.M. Visperas, A.L. Sanico, K.G. Cassman y G.S. Khush. 2000. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. *Crop Sci.* 307-314.

Pimentel D. y T.W. Patzek. 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood. Biocombustibles Production Using Soybean and Sunflower. *Nat. Resour. Res.* 14:65-76.

Soares-Filho B.S., D.C. Nepstad, L.M. Curran, G.C. Cerqueira, R.A. Garcia, C.A. Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre y P. Schlesinger. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* 520-523.

Verma S.B., A. Dobermann, K.G. Cassman, D.T. Walters, J.M. Knops, T.J. Arkebauer, A.E. Suyker, G.G. Burba, B. Amos, H.S. Yang, D. Ginting, K.G. Hubbard, A.A. Gitelson y E.A. Walter-Shea. 2005. Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize-based agroecosystems. *Agric. For. Meteorol.* 131:77-96.

Haishun Y., A. Dobermann, K.G. Cassman y D.T. Walters. 2006. Features, Applications, and Limitations of the Hybrid-Maize Simulation Model. *Agron. J.* 98:737-748.

Zhang H., A. Henderson-Sellers y K. McGuffie. 2001. The compounding effects of tropical deforestation and greenhouse warming on climate. *Climatic Change* 49:309 – 338. ◀

# COMPARTIMENTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA Y BALANCE DE CARBONO EN EXPERIMENTOS SOBRE SISTEMAS DE MANEJO DE SUELOS DE LARGA DURACIÓN

J.C.M. Sá<sup>1</sup>, J.B. Dos Santos<sup>2</sup>, F. M. Vázquez<sup>3</sup>, E.G. Cardoso, D.S. Junior<sup>4</sup>, A. Massinham<sup>4</sup>, C. Ferreira<sup>5</sup>,  
M.A. Pavei<sup>5</sup>, R.S. Carli<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencia del Suelo e Ingeniería Agrícola, Universidad Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR. <sup>2</sup> Universidad Federal do Paraná. Juvevê, Curitiba-PR. <sup>3</sup> Instituto de Química Ambiental, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela. <sup>4</sup> Universidad Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR. <sup>5</sup> Centro de Energía Nuclear en Agricultura, Piracicaba, SP.  
jcmsa@uepg.br

Resumen de la presentación al XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.  
León, Guanajuato, México. 17-21 de Setiembre de 2007.

## Introducción

La materia orgánica del suelo (MOS) es un componente clave en los ecosistemas terrestres, tanto en su concentración como en distribución, y su contenido y calidad tienen un importante efecto en los procesos que ocurren dentro de los ecosistemas. El equilibrio entre las fracciones es dinámico y conceptualmente definido por las ganancias y pérdidas de materia orgánica. Dependiendo de las prácticas agrícolas y del sistema de manejo adoptado, el suelo actúa como fuente o destino de CO<sub>2</sub> atmosférico (Bruce et al., 1999). En sistemas con pérdidas de materia orgánica superiores a las ganancias, rompiendo el equilibrio, el suelo puede actuar como fuente constante de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, resultando en pérdidas significativas del contenido original de MOS. Por otro lado, la no remoción del suelo asociada con el aporte de residuos de cultivos, tienen como resultado la reducción de las pérdidas de carbono y el mantenimiento del stock de carbono en los primeros cm del perfil del suelo (Kern y Jonson, 1993; Bayer et al., 1996; Sá et al., 2001). El equilibrio estable "steady-state" del reservorio de carbono del suelo es el balance entre ganancias (residuos vegetales y abonos orgánicos) y las pérdidas (descomposición y mineralización de la materia orgánica o por erosión). La MOS es un componente dinámico y varios modelos han sido utilizados para describir los cambios que se producen en el tiempo. La complejidad de los modelos varía desde un abordaje simplificado y de un compartimiento como la propuesta de Henin y Dupuis (1945), hasta los modelos con más de un compartimiento propuestos por Jenkinson y Rainer (1977) y Parton et al. (1987). De acuerdo con Henin y Dupuis (1945) y Greenland (1971), las modificaciones de C del suelo se describen mediante la función  $dC/dt = -K_2C + K_1A$ , esta es una herramienta fundamental para el entendimiento del impacto de los sistemas

de manejo de C en el suelo. En este caso,  $dC/dt$  representa una tasa de variación de C orgánico del suelo en el tiempo,  $A$  es una tasa de ganancia anual de C en el suelo (t ha<sup>-1</sup>),  $K_1$  representa el coeficiente de humificación de C orgánico,  $C$  es el carbono orgánico total del suelo (t ha<sup>-1</sup>) y  $K_2$  es la tasa de oxidación anual de C (t ha<sup>-1</sup>), representada por la descomposición y la mineralización. El objetivo de este trabajo fue evaluar el balance de C, a través del contenido de C, nitrógeno (N), y azufre (S) total, el C extraído por disolución selectiva (C-oxidable) y el C extraído por Pirofosfato (C-Pirofosfato), en fracciones granulométricas de MOS en el estrato de suelo de 0-2.5 y 2.5-5 cm. de espesor en un suelo de textura arcillosa clasificado como Hapludox típico.

## Materiales y Métodos

El presente trabajo fue desarrollado en un experimento sobre sistemas de manejo de suelos, que fue iniciado en el año 1988, localizado en la estación experimental de Fundación ABC, en Ponta Grossa (Paraná, Brasil), en el Planalto, cuyas coordenadas geográficas de referencia son: 25°20'S e 50°20'W. La altitud del área experimental es de 910 metros sobre el nivel del mar, y el clima se caracteriza como subtropical húmedo, del tipo Cfb (clasificación de Köppen), con veranos frescos y heladas en invierno. La precipitación y la temperatura media anual son respectivamente de 1545 mm y 20 °C. El suelo fue clasificado como Hapludox Típico, textura arcillosa, profundo, muy bien estructurado y drenado. El diseño experimental original fue constituido en cuatro sistemas de suelos distribuidos en tres bloques aleatorizados. El presente trabajo fue desarrollado sobre el delineamiento original incrementando la variable tiempo de colección de muestras, como parcela subdividida cuyas medidas repetidas en el tiempo, contaron con tres repeticiones. Los sistemas

de manejo adoptados fueron:

- 1) Labranza Convencional (LC) - realizado a través de un arado para llegar a los 20 cm. de profundidad seguido de dos arados niveladores;
- 2) Labranza Reducida (LR) – realizado a través de un escarificador para alcanzar los primeros 30 cm. de profundidad seguido de dos arados niveladores;
- 3) Siembra Directa con Escarificador (SDE) – se realizó la siembra sobre residuos de cultivos en superficie con una escarificación para llegar a la profundidad de los 30 cm cada tres años y,
- 4) Siembra Directa Permanente (SDP).

La dimensión de cada unidad experimental fue de 8.3 x 25 m, totalizando 2500 m<sup>2</sup>. Las muestras para la realización de densidad de suelo se tomaron en Febrero del 2003, y las muestras para las determinaciones de C, N y S total, y C oxidable se efectuaron en las profundidades 0-2.5 y 2.5-5 cm en los meses de Octubre 2003, Abril 2004 y Octubre 2004. Para la determinación del contenido total de C, N y S fue utilizado el analizador elemental de Leco Instruments (TruSpec CNS), el C-oxidable fue extraído a través de una disolución selectiva por el método de Sauerlandt, y para el C-Pirofosfato la extracción se realizó a través del método de Bascomb (1968).

El cálculo del stock total de los compartimentos fue realizado considerando la siguiente expresión:

$$C \text{ (ton ha}^{-1}\text{)} = \text{Contenido de C} * \text{Densidad de Suelo} * \text{Volumen del estrato de suelo}$$

El balance de C fue realizado a través del modelo de más de un compartimiento propuesto por Henin y Dupuis (1945) y, adaptado por Bayer (2000).

## Resultados

La comparación del stock de carbono entre los sistemas de manejo mostraron una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ), para la SDP en relación con la LC en las tres épocas de muestreo (Tabla 1). La diferencia fue de 4.17; 6.31 y 5.31 Mg ha<sup>-1</sup> en los muestreos de los meses de Octubre 2003, Abril

2004 y Octubre 2004, respectivamente. El flujo de C y N tuvo un aumento significativo desde Octubre de 2003 a Abril de 2004, debido a los aportes de residuo de avena blanca y de soja. El flujo estuvo asociado a una combinación de compuestos aminados originados de la descomposición de los residuos de soja, y asociados a una liberación de compuestos de lignina originados en los residuos de avena, resultando en una mayor humificación y estabilización de la MOS. La relación entre el COT y el N-total con el C-Pirofosfato fue de 81%, indicando que el flujo de C y N de la fracción joven de la MOS está en directa relación con las fracciones más estables (Figs. 1 y 2).

El porcentaje del stock de C-Pirofosfato en relación con el stock de COT varió entre 16.31% a 33.41% y, representa la parte fácilmente oxidable. En el sistema de SDP, el C-Pirofosfato fue superior en 15.56% indicando una mayor presencia de formas jóvenes de C. De esta manera, estos compuestos contribuirían para el reagrupamiento de agregados y partículas dispersas, estimulando la actividad de la biomasa microbiana resultando en una macro agregación y protección del C y N. La relación media C:N:S de todas las fracciones granulométricas en los estratos fue más elevada en SDP, indicando la ocurrencia de un mayor flujo de C entre los compartimentos de la MOS. La utilización del modelo de un compartimiento descrito por Henin y Dupuis (1945) reveló una elevada afinidad en las alteraciones del stock de C afectados por el sistema de manejo. El aporte medio anual de materia seca de 12.38 Mg ha<sup>-1</sup> en LC (Tabla 2) no fue suficiente para mantener el balance de C en equilibrio estable. El déficit anual de residuos en LC fue de 1.46 Mg ha<sup>-1</sup>. En contraste, el aporte medio anual de SDP fue de 13.12 Mg ha<sup>-1</sup> y con un balance positivo de C en el suelo. La necesidad mínima de residuos para mantener el equilibrio en este sistema fue de 8.04 Mg ha<sup>-1</sup>, y el excedente de residuos fue de 5.08 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los sistemas de manejo con baja movilización (LR y SDE) presentaron comportamientos intermedios entre la SD y el SDP.

**Tabla 1.** Stock de carbono de suelo afectado por el sistema de manejo en tres épocas de recolección de muestras en un experimento de larga duración.

Sistemas de manejo de suelo	Épocas de recolección de las muestras de suelo			
	Octubre 2003	Abril 2004	Octubre 2004	Media
	----- Stock de C (Mg ha <sup>-1</sup> ) -----			
Siembra Directa Permanente – SDP	19.45 Aa <sup>§</sup>	21.48 Ab	20.15 Ab	20.36
Siembra Directa con escarificador - SDE	18.16 Aa	18.81 Ba	18.70 Ba	18.56
Siembra Directa – SD	17.39 Aa	17.65 Ba	17.54 Ba	17.53
Labranza Convencional – LC	15.28 Ba	15.17 Ba	14.84 Ba	15.10
Diferencia entre SDP y LC	4.17	6.31	5.31	5.26

<sup>§</sup> Las letras mayúsculas refieren a comparaciones de medias en la columna (sistemas de manejo) y las minúsculas se refieren a la comparación en líneas (épocas de recolección).

## Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la disertación de Josiane Burkner dos Santos con apoyo de CAPES y en colaboración con el Prof. Dr. Felipe Macias Vazquez del Instituto de Tecnología de la Universidad de Santiago de Compostela (España).

## Referencias Bibliográficas

**Bruce J.P., M. Frome, E. Haites, H. Janzen y R. Lal.** 1999. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation* 54: 382-389.

**Bayer C., L. Martin-Neto, J. Mielniczuk y C.A. Ceretta.** 2000. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil & Tillage Research* 53: 95-104.

**Bayer C.** 1996. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo do solo. Tesis de Doctorado. UFRGS.

**Greenland D.J.** 1971. Changes in the nitrogen status and physical condition of soils under pasture, with special reference to the maintenance of the Australian soils used for growing wheat. *Soil Fertility* 34: 237-251.

**Henin S. y M. Dupuis.** 1945. Essais du bilan de la matière organique du sol. *Annales Agronomiques* 15: 17-29, Paris.

**Kern J.S. y M.G. Johnson.** 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal*.57: 200-210.

**Jenkinson D.S. y J.H. Rayner.** 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Journal of Soil Science* 123: 298-305.

**Parton W.J., D.S. Schimel, C.V. Cole y D.S. Ojima.** 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1173-1179.

**Sá J.C.M., C.C. Cerri, R. Lal, W.A. Dick, S.P. Venzke Filho, M. Piccolo y B. Feigl.** 2001. Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage cro- n- sequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1486-1499. ◀

**Reimpresión:**

**Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos**

Hernán E. Echeverría y Fernando O. García (editores)

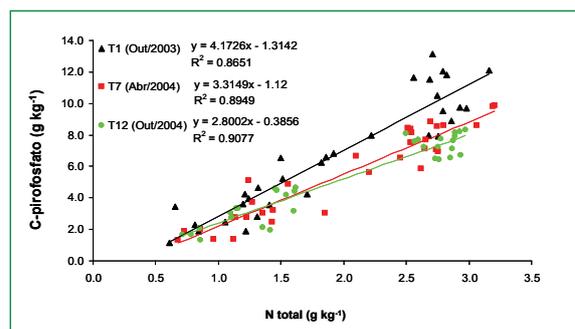
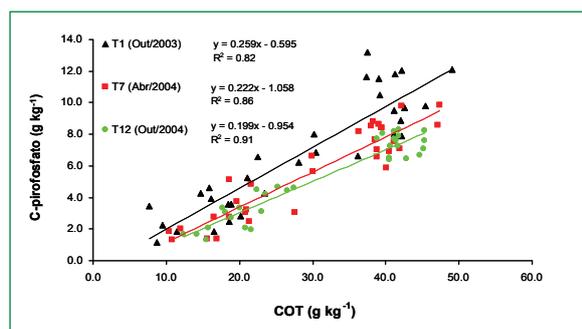


Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agraria INTA

► Costo de la publicación: \$60 (sesenta pesos argentinos). Gastos de envío nacional: \$24 (veinticuatro pesos)

**Tabla 2.** Balance de C y equivalente de residuos para los sistemas de manejo de suelos en experimentos de larga duración.

Sistemas de Manejo de suelo	Coeficiente oxidación (K <sub>2</sub> *C)	dC/dt ≠ 0 (Media de dos años)	Equivalente en residuos			
			dC/dt ≠ 0	dC/dt = 0	Media de aporte anual	Δ (Aporte anual - dC/dt = 0)
----- Mg ha <sup>-1</sup> -----						
LC	1.67	-0.20	-1.66	13.84	12.38	-1.46
LR	1.14	0.45	3.77	10.00	12.62	2.62
SDE	0.99	0.70	5.87	9.00	12.99	3.99
SDP	0.84	0.99	8.32	8.04	13.12	5.08



**Figura 1 y 2.** Relación entre el COT y el N total del suelo con el C-Pirofosfato en tres épocas de recolección.

# EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN *DIGITARIA* (*DIGITARIA ERIANTHA* STEUDEL)

Jorge H. Veneciano y Karina L. Frigerio  
INTA San Luis  
jveneciano@sanluis.inta.gov.ar

## Introducción

*Digitaria* (*Digitaria eriantha* Steudel ssp. *eriantha* cv. Irene) es una especie nativa del África Oriental y del Sur, adaptada a regiones tropicales y subtropicales con lluvias estivales no inferiores a 400-500 mm, que fue introducida hace más de dos décadas en San Luis y La Pampa por el INTA (Veneciano, 2006). Su difusión se efectuó sobre la base de sus condiciones de adaptación al ambiente semiárido, perennidad, sanidad y superioridad de calidad forrajera respecto del pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schrader) Nees), especie con la cual se complementa de manera ventajosa para la formulación de planteos de cría bovina. Entre las características propias de las gramíneas estivales ( $C_4$ ), se cita la alta eficiencia de utilización de nitrógeno (N), que se traduce en una elevada productividad de materia seca, aún a expensas de una dilución del contenido de N en sus tejidos (Deinum, 1984), situación observada incluso bajo condiciones de fertilización.

El N es el nutriente que limita, con mayor frecuencia, el crecimiento y la calidad de las gramíneas (Marino y Agnusdei, 2004); y los suelos medanosos de San Luis son particularmente pobres en materia orgánica y N. En estos ambientes la adición de N constituye un requisito para la expresión de la productividad del cultivo, tal cual señala información proveniente de su país de origen (Grunow y Rabie, 1985). Además del crecimiento, el valor nutritivo de las pasturas depende en alto grado del abastecimiento de N y P. Las deficiencias minerales, en general, y de N en particular determinan una reducción de la actividad fotosintética de las plantas, derivada de los efectos depresivos que su déficit ejerce sobre el consumo de C, la actividad metabólica de los cloroplastos y la concentración de N en los tejidos de asimilación. Diversos autores admiten que el desarrollo foliar y la cantidad de energía luminosa interceptada constituyen la principal causa del incremento de la productividad del forraje, asociado con el aporte de N.

En *digitaria* se conoce la incidencia favorable de la fertilización nitrogenada sobre la productividad de la pastura (Veneciano, 2006), aunque se carece de información generada para periodos con más de 3 años de mediciones. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes modalidades de fertilización nitrogenada sobre la producción de forraje, composición de la materia seca y contenido foliar de proteína bruta de *digitaria* durante 6 años de mediciones.

## Materiales y Métodos

La experiencia se llevó a cabo en el lote 22 del campo experimental de la EEA San Luis (INTA), situado en 33°39'S - 65°22'O y a 515 msnm, sobre un suelo Ustipsamente típico, y con valores iniciales de: 0.047% de N total, 3.0 ppm de N-amonio y 3.0 ppm de N-nitratos.

Las parcelas se implantaron en noviembre de 2000, a 0.5 m de distancia entre líneas y entre plantas contiguas de una misma línea (densidad= 4 plantas por m<sup>2</sup>). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Se trabajó con 24 parcelas de 1.5 x 3 m (4.5 m<sup>2</sup>), efectuándose los muestreos sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup>, y los cortes a una altura de 7 cm.

### Los tratamientos formulados fueron:

Año:	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1 (2001-02)	S	S	S	S	S	F	F	F
2 (2002-03)	S	S	S	S	F	F	S	S
3 (2003-04)	S	S	S	F	F	F	F	S
4 (2004-05)	S	S	F	F	F	F	S	F
5 (2005-06)	S	F	F	F	F	F	F	S
6 (2006-07)	S	F	F	F	F	F	S	S

Referencias: S= sin fertilización, F= con fertilización.

La fertilización nitrogenada (60 kg de N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) se aplicó como urea (se estimó un rendimiento de 5000 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con 1.2% de N en la MS), distribuido en dos (2) momentos: mediados de primavera (después de una lluvia de no menos de 20 mm) y luego del 1° corte.

Se determinó la productividad, expresada en kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, de planta entera (PE) y follaje (F), después de efectuar la separación manual de las muestras en las fracciones foliosa y de tallos florales. Las muestras se secaron en estufa a 65 °C. El contenido proteico foliar (PB) se determinó por el método micro Kjeldahl. Cada año, el corte inicial se efectuó cuando alguno de los tratamientos alcanzó la fase fenológica de floración, y las defoliaciones posteriores se realizaron según el crecimiento evidenciado, totalizando 3-4 cortes por estación, de acuerdo con las condiciones ambientales de cada año.

Se realizó un análisis de la variancia, comparándose los valores medios por el test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## Resultados

La estación de crecimiento (semestre octubre-marzo) del periodo de mediciones se caracterizó por un nivel

de precipitaciones muy variable, que es bien reflejado por los valores de rango y coeficiente de variación (Tabla 1). Para el periodo de mediciones, enero resultó el mes con mayor valor medio de precipitaciones y menor variabilidad interanual.

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de productividad de MS (PE y F, kg ha<sup>-1</sup>) y PB foliar (% y kg ha<sup>-1</sup>), correspondientes a los tratamientos considerados. Con relación a la productividad de MS de PE y F, se aprecia una superioridad de T6 (todos los años con aporte de N) y T5 (5 de los 6 años con aporte de N) respecto de los restantes tratamientos, duplicando por lo menos los rendimientos correspondientes a T1 (sin aporte de N). La mayor estabilidad productiva entre años (inferior CV) fue para T6. Con relación a la composición de la MS, en promedio el F de T1 constituyó el 77.4% de la MS de PE, correspondiendo el valor inferior a T6 (66.2%), y valores intermedios para los demás tratamientos, lo cual pone de manifiesto que el aporte de N estimuló un mayor desarrollo del componente tallos florales.

De mucha menor magnitud fue la incidencia de la fertilización nitrogenada sobre el contenido porcentual de PB foliar; T6 y T5 alcanzaron los niveles superiores, correspondiendo los inferiores a los tratamientos con menor número de años con fertilización: T1 (nunca fertilizado) y T2 (sólo 2 años con fertilización). Veneciano y Terenti (1996) registraron para el cultivo de digitaria fertilizado un incremento del 25% en el contenido de PB del material de rebrote; mientras que Frasinelli y Veneciano (Com. Pers.) no observaron una respuesta apreciable de la fertilización en el contenido de PB de la pastura diferida. En este caso la explicación, por lo menos parcial, puede estar dada por la migración de los compuestos nitrogenados desde los órganos envejecidos, como mecanismo de reutilización que el vegetal realiza de la proteína:

los compuestos nitrogenados poseen una alta tasa de reciclado y movilidad en la planta, por lo cual los tejidos viejos se empobrecen en N en el proceso de senescencia (García et al., 2002).

En la Tabla 2 se aprecia el efecto conjunto de una mayor productividad de MS y contenido de PB que consecuentemente se expresa en un rendimiento superior de PB (kg ha<sup>-1</sup>) de los tratamientos T6 y T5, que casi triplicaron a T1.

### Tratamientos extremos

En la Tabla 3 se han reseñado los valores anuales de productividad de MS (PE y F) correspondientes a T1 (sin fertilización) y T6 (fertilizado todos los años), junto con el total de lluvia de la estación de crecimiento. En esa misma tabla se puede observar que los rendimientos de MS del tratamiento T6, para ambas variables, fueron siempre superiores en no menos de 100% respecto de T1. Entre años, los mayores rendimientos correspondieron a la estación de crecimiento 2006-7, que presentó precipitaciones superiores al promedio zonal. Veneciano y Terenti (1996) registraron incrementos de MS (PE) de 85-139% para la pastura de digitaria fertilizada anualmente con 100 kg N + 70 kg P + 70 kg S respecto del cultivo sin fertilizar, trabajando con una metodología de cortes secuenciales y 5 series desfasadas semanalmente. En un área más seca de la provincia (Soven), Frasinelli y Veneciano (Com. Pers.) registraron incrementos de rendimiento de 80 y 110% para PE con niveles de fertilización nitrogenada de 30 y 50 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente, trabajando con digitaria diferida en pie.

Agnusdei y Marino (2005) resaltan la importancia de la fertilización nitrogenada como herramienta para incrementar no sólo los rendimientos de las pasturas, sino para inducir además cierta mejora en el contenido

**Tabla 1.** Precipitaciones mensuales medias de la estación de crecimiento (Pp), para el periodo de mediciones 2001-07. INTA San Luis.

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
Pp (mm)	58.8	60.9	111.4	148.3	95.8	95.2	570.4
CV (%)	76.4	62.0	62.6	16.2	55.4	60.2	32.2
Rango (mm)	11-135	14-106	46-223	114-176	40-190	23-193	426-919

**Tabla 2.** Valores promedio de productividad de MS y PB de digitaria, correspondientes a los tratamientos considerados, para el periodo de mediciones 2001-07. INTA San Luis.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
PE (kgMS ha <sup>-1</sup> )	2599 c	4319 b	4970 b	4759 b	6411 a	7365 a	5418 b	4971 b
CV (%)	31.6	81.3	54.8	42.6	29.6	25.2	35.5	30.9
F (kgMS ha <sup>-1</sup> )	2012 c	3145 b	3569 b	3289 b	4366 a	4878 a	3606 b	3636 b
CV (%)	26.1	66.4	46.7	37.2	28.3	19.4	25.7	25.3
PB* (%)	6.1 c	6.4 c	6.8 b	7.1 b	7.4 a	7.9 a	6.9 b	6.7 b
CV (%)	10.1	11.5	13.9	19.8	14.9	12.1	20.8	15.0
PB* (kg ha <sup>-1</sup> )	120.7 c	208.3 b	249.3 b	242.2 b	326.1 a	381.9 a	253.0 b	245.1 b
CV (%)	20.1	75.0	54.2	48.8	32.5	20.9	38.0	33.4

En la fila, valores seguidos de distinta letra difieren significativamente ( $P < 0,05$ ).

PE= planta entera; F= follaje. \*corresponde a la fracción follaje

proteico de la MS, favorecer la estabilización productiva en el tiempo y mejorar la distribución del crecimiento estacional. En la Tabla 4 se presentan los valores anuales de concentración (%) y rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) de PB foliar correspondientes a los tratamientos T1 y T6. Respecto del contenido de PB, en todos los casos los niveles más altos correspondieron a T6. Entre años, los valores superiores fueron para la estación de crecimiento con menores niveles de precipitaciones (2003-4), evidenciándose cierta tendencia inversa entre ambos parámetros. Con relación al rendimiento de PB, se confirma la superioridad de T6 respecto de T1. Para igual tratamiento, las diferencias entre años fueron explicadas esencialmente por el factor productividad de MS.

### Tratamientos con inicio escalonado de la fertilización nitrogenada

En las Tablas 5 y 6 se han resumido los rendimientos anuales de MS (PE y F) correspondientes a los tratamientos T1 a T6, en los que cada año, con excepción de T1, se inició la fertilización nitrogenada para diferentes edades de la pastura. Puede observarse que el promedio de rendimientos de MS de los tratamientos con aporte de N superó a los tratamientos sin fertilización en 98-213% (PE) y 65-140% (F), según el año. En todos los casos, la incorporación de N se tradujo en una respuesta productiva de similar magnitud a la de los tratamientos que ya venían fertilizándose.

En la Tabla 7 se pueden observar los valores medios

**Tabla 3.** Productividad de MS (PE y F) de digitaria correspondiente a T1 y T6, por año. INTA San Luis.

Estación de crecimiento <sup>1</sup>	Lluvias (mm)	PE (kg MS ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		Dif. (%)	F (kg MS ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		T1	T6		T1	T6	
2001-02	628.0	3163 Bb	<b>7985 Ab</b>	152.4	2362 Bb	<b>4926 Ab</b>	108.5
2002-03	477.5	2984 Bb	<b>8395 Ab</b>	181.3	2378 Bb	<b>5132 Ab</b>	115.8
2003-04	426.3	1730 Bc	<b>7505 Ab</b>	333.8	1404 Bd	<b>4724 Ab</b>	236.4
2004-05	496.2	1990 Bc	<b>4945 Ac</b>	148.5	1617 Bc	<b>3764 Ac</b>	132.8
2005-06	475.6	1957 Bc	<b>5478 Ac</b>	179.9	1627 Bc	<b>4205 Ac</b>	158.4
2006-07	918.7	3770 Ba	<b>9884 Aa</b>	162.2	2683 Ba	<b>6514 Aa</b>	142.8
Promedio	570.4	2599 B	7365 A	183.4	2012 B	4878 A	142.4

Para cada variable, valores seguidos de distintas letras, difieren signif. ( $p < 0,05$ ): mayúsculas, en la fila; minúsculas, en la columna. 1: 1° de octubre a 31 de marzo. En verde, tratamiento con fertilización nitrogenada.

**Tabla 4.** Contenido medio anual (%) y rendimiento anual (kg ha<sup>-1</sup>) de PB foliar de digitaria correspondiente a T1 y T6. INTA San Luis.

Estación de crecimiento	Lluvias (mm)	PB (%)		Dif. (%)	PB (kg ha <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		T1	T6		T1	T6	
2001-02	628.0	5.3 Bd	<b>7.2 Ad</b>	35.8	125 Bb	<b>355 Ab</b>	183.3
2002-03	477.5	6.1 Bc	<b>7.5 Ac</b>	23.0	145 Ba	<b>385 Ab</b>	165.3
2003-04	426.3	7.1 Ba	<b>9.6 Aa</b>	35.2	100 Bc	<b>454 Aa</b>	354.9
2004-05	496.2	6.0 Bc	<b>8.2 Ab</b>	36.7	97 Bc	<b>309 Ac</b>	218.1
2005-06	475.6	6.4 Bb	<b>7.0 Ad</b>	9.4	104 Bc	<b>294 Ac</b>	182.8
2006-07	918.7	5.7 Bd	<b>7.6 Ac</b>	33.3	153 Ba	<b>495 Aa</b>	223.7
Promedio	570.4	6.1 B	7.9 A	29.5	121 B	382 A	216.4

Para cada variable, valores seguidos de distintas letras, difieren signif. ( $p < 0,05$ ): mayúsculas, en la fila; minúsculas, en la columna. En verde, tratamiento con fertilización nitrogenada.

**Tabla 5.** Productividad de MS de PE de digitaria correspondiente a tratamientos con incorporación gradual de la fertilización nitrogenada. INTA San Luis.

Estación de Crecimiento	Lluvias (mm)	Productividad anual de MS (PE, kg ha <sup>-1</sup> )					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
2001-02	628.0	3163 Cb	2571 Dc	3162 Cc	2675 Dd	4243 Bd	<b>7985 Ab</b>
2002-03	477.5	2984 Bb	2352 Cc	3057 Bc	2437 Cd	<b>8070 Ab</b>	<b>8395 Ab</b>
2003-04	426.3	1730 Dc	1960 Cc	2049 Cd	<b>6176 Bb</b>	<b>6089 Bc</b>	<b>7505 Ab</b>
2004-05	496.2	1990 Dc	2323 Dc	<b>6078 Ab</b>	<b>4722 Cc</b>	<b>5264 Bc</b>	<b>4945 Cc</b>
2005-06	475.6	1957 Cc	<b>5845 Ab</b>	<b>6132 Ab</b>	<b>4827 Bc</b>	<b>5511 Ac</b>	<b>5478 Ac</b>
2006-07	918.7	3770 Da	<b>10860 Aa</b>	<b>9340 Ba</b>	<b>7720 Ca</b>	<b>9287 Ba</b>	<b>9884 Ba</b>
Promedio	570.4	2599 C	4319 B	4970 B	4759 B	6411 A	7365 A

Valores seguidos de distintas letras, difieren signif. ( $p < 0,05$ ): mayúsculas, en la fila; minúsculas, en la columna. En verde, tratamiento con fertilización nitrogenada.

de PB del F, apreciándose para un mismo año diferencias significativas entre los tratamientos con y sin fertilización. Para igual tratamiento, las diferencias entre años –con alguna excepción– favorecieron a los periodos con aporte de N, observándose cierta tendencia inversa entre los valores de PB y de precipitaciones.

En la Tabla 8 se indican los valores promedio de rendimiento anual de PB foliar, verificándose una nítida superioridad de los tratamientos fertilizados. Para un mismo tratamiento, la fertilización y las precipitaciones fueron los factores que determinaron el ordenamiento de los tratamientos.

### Tratamientos con fertilización nitrogenada discontinua

En la Tabla 9 se presentan, junto con T1 y T6 (trata-

mientos de referencia), los valores de productividad de MS (PE y F) de tratamientos con aporte discontinuo de N: T7 (fertilizado año por medio) y T8 (1 año fertilizado seguido por 2 años sin aporte de N). La incidencia del factor fertilización nitrogenada se manifiesta nuevamente, pero se advierte además –para los años en que T7 y T8 no recibieron fertilizante, un cierto efecto residual con relación a T1 (nunca fertilizado). La diferencia de productividad, según tratamiento, año y variable considerada (PE, F), osciló entre 14.4 y 97.6% respecto de T1. Adúriz et al. (1998), aplicando 60 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, informaron un efecto residual del 26% en la productividad de MS de digitaria, y del 39% en pasto llorón.

En la Tabla 10 se presenta la información con los valores de contenido foliar de PB (%), observándose que las dife-

**Tabla 6.** Productividad de MS del F de digitaria, correspondiente a tratamientos con incorporación gradual de la fertilización nitrogenada. INTA San Luis.

Estación de crecimiento	Lluvias (mm)	Productividad anual de MS (F, kg ha <sup>-1</sup> )					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
2001-02	628.0	2362 Ab	2037 Dc	2252 Cc	1928 Dd	2801 Bd	<b>4926 Ab</b>
2002-03	477.5	2378 Bb	2024 Cc	2588 Bc	1931 Cd	<b>5321 Ab</b>	<b>5132 Ab</b>
2003-04	426.3	1404 Cd	1731 Cc	1639 Cd	<b>3939 Bb</b>	<b>3724 Bc</b>	<b>4724 Ab</b>
2004-05	496.2	1617 Fc	2006 Ec	<b>4473 Ab</b>	<b>3418 Dc</b>	<b>4067 Bc</b>	<b>3764 Cc</b>
2005-06	475.6	1627 Bc	<b>4025 Ab</b>	<b>4477 Ab</b>	<b>3403 Bc</b>	<b>4015 Ac</b>	<b>4205 Ac</b>
2006-07	918.7	2683 Ca	<b>7048 Aa</b>	<b>5984 Aa</b>	<b>5115 Ba</b>	<b>6270 Aa</b>	<b>6514 Aa</b>
Prom.	570.4	2012 C	3145 B	3569 B	3289 B	4366 A	4878 A

**Tabla 7.** Contenido foliar de PB de digitaria correspondiente a tratamientos con incorporación gradual de la fertilización nitrogenada. INTA San Luis.

Estación de crecimiento	Lluvias (mm)	Contenido medio anual de PB del F (%)					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
2001-02	628.0	5.3 Cd	5.2 Cd	5.5 Bc	5.2 Ce	5.5 Bd	<b>7.2 Ad</b>
2002-03	477.5	6.1 Dc	6.4 Cb	5.8 Ec	5.9 Ed	<b>7.8 Ab</b>	<b>7.5 Bc</b>
2003-04	426.3	7.1 Da	6.5 Eb	7.1 Db	<b>9.2 Ba</b>	<b>8.9 Ca</b>	<b>9.6 Aa</b>
2004-05	496.2	6.0 Dc	5.9 Dc	<b>8.0 Ba</b>	<b>7.5 Cb</b>	<b>7.4 Cc</b>	<b>8.2 Ab</b>
2005-06	475.6	6.4 Bb	<b>7.2 Aa</b>	<b>7.2 Ab</b>	<b>7.1 Ac</b>	<b>7.4 Ac</b>	<b>7.0 Ad</b>
2006-07	918.7	5.7 Cd	<b>7.0 Ba</b>	<b>7.1 Bb</b>	<b>7.4 Ab</b>	<b>7.3 Ac</b>	<b>7.6 Ac</b>
Promedio	570.4	6.1 B	6.4 B	6.8 B	7.1 A	7.4 A	7.9 A

**Tabla 8.** Rendimiento de PB foliar de digitaria correspondiente a tratamientos con incorporación gradual de la fertilización nitrogenada. INTA San Luis.

Estación de crecimiento	Lluvias (mm)	Rendimiento anual de PB foliar (kg ha <sup>-1</sup> )					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
2001-02	628.0	125 Cb	106 Dc	124 Ce	100 Dc	154 Bc	<b>355 Ab</b>
2002-03	477.5	145 Ca	130 Dc	150 Cd	114 Dc	<b>415 Aa</b>	<b>385 Bb</b>
2003-04	426.3	100 Dc	113 Dc	116 De	<b>362 Ba</b>	<b>331 Cb</b>	<b>454 Aa</b>
2004-05	496.2	97 Dc	118 Dc	<b>358 Ab</b>	<b>256 Cb</b>	<b>301 Bb</b>	<b>309 Bc</b>
2005-06	475.6	104 Cc	<b>290 Ab</b>	<b>322 Ac</b>	<b>242 Bb</b>	<b>297 Ab</b>	<b>294 Ac</b>
2006-07	918.7	153 Ca	<b>493 Aa</b>	<b>425 Ba</b>	<b>379 Ba</b>	<b>458 Aa</b>	<b>495 Aa</b>
Promedio	570.4	121 C	208 B	249 B	242 Bb	326 A	382 A

Valores seguidos de distintas letras, difieren signif. ( $p < 0,05$ ): mayúsculas, en la fila; minúsculas, en la columna. En verde, tratamiento con fertilización nitrogenada.

rencias respondieron únicamente al aporte de N de cada año en particular, sin apreciarse efecto residual alguno. Consecuentemente, la residualidad observable en el rendimiento de PB foliar, es atribuible únicamente a la incidencia de la fertilización sobre el factor productividad de MS.

### Consideraciones finales

El uso apropiado de fertilizantes contribuye a la protección del ambiente y a la producción sostenible de los cultivos: promueve un vigoroso crecimiento de las plantas, mejora el sistema radicular, la cobertura del suelo, uso más eficiente del agua y mayor resistencia del cultivo al estrés, todo lo cual previene la degradación del suelo (Roberts, 1996). Los resultados obtenidos en la experiencia que se presenta indican que es factible incrementar de manera notoria la productividad de forraje de digitaria a través del agregado de N, con independencia de la edad de la pastura. Se verificaron efectos significativos incluso sobre la productividad de la estación de crecimiento posterior a la de la fertilización (efecto residual). La respuesta a la fertilización nitrogenada en el contenido de PB del follaje fue de inferior magnitud, y no se detectó efecto residual para esta variable.

### Referencias bibliográficas

Adúriz M.A., A.O. Gargano y M.C. Saldungaray. 1998. Efecto residual de la fertilización sobre la producción pri-

mavero-estival de digitaria y pasto llorón. AAPA, Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 18 Sup. 1: 91.

Agnusdei M. y M.A. Marino. 2005. Producción y utilización del pasto: aspectos que deben conciliarse en una ganadería pastoril confiable y competitiva. In: Forrajes 2004. Seminario técnico "Cómo producir y aprovechar el forraje eficientemente en la empresa agropecuaria del futuro" (Bs. As., 24 y 25 de febrero): 177-194.

Deinum B. 1984. Chemical composition and nutritive value of herbage in relation to climate. 10° Gen. Meeting (Norway). Proc.: 338-350.

García F.O., F. Micucci, G. Rubio, M. Ruffo e I. Daverede. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdesos. INPOFOS Cono Sur.

Grunow, J.O. y J.W. Rabie. 1985. Production and quality norms of certain grass species for fodder flow planning. Pretoria area. Journal Grassland Soc. South Africa 2 (2): 23-28.

Marino M.A. y M. Agnusdei. 2004. Algunos conceptos básicos para el manejo del N en pasturas de la región pampeana. In: Forrajes 2004. Seminario técnico "Cómo producir y aprovechar el forraje eficientemente en la empresa agropecuaria del futuro" (Bs. As., 24 y 25 de febrero): 85-89.

Roberts T.L. 1996. Fertilizantes y su impacto en el medio ambiente. In: CPIA-SRA, 3° Seminario de actualización técnica "Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras": 199-215.

Veneciano J.H. 2006. Gramíneas estivales perennes para ambientes semiáridos: características y productividad. Inf. Técnica 171, INTA San Luis.

Veneciano J.H. y O.A. Terenti. 1996. Producción anual y estacional de forraje de Digitaria eriantha, con y sin fertilización, en San Luis (Arg.). Rev. UNRC 16 (2): 113-122. <

**Tabla 9.** Productividad de MS de digitaria (PE y F) correspondiente a tratamientos con fertilización nitrogenada discontinua. INTA San Luis.

Estac. de crecim.	Productividad anual de MS (PE, kg ha <sup>-1</sup> )				Productividad anual de MS (F, kg ha <sup>-1</sup> )			
	T1	T6	T7	T8	T1	T6	T7	T8
2001-02	3163 Cb	<b>7985 Ab</b>	<b>7307 Ba</b>	<b>6972 Ba</b>	2362 Cb	<b>4926 Ab</b>	<b>4312 Ba</b>	<b>4213 Bb</b>
2002-03	2984 Db	<b>8395 Ab</b>	4219 Cc	4748 Bd	2378 Cb	<b>5132 Ab</b>	3178 Bc	3463 Bc
2003-04	1730 Cc	<b>7505 Ab</b>	<b>7287 Aa</b>	2894 Bf	1404 Dd	<b>4724 Ab</b>	<b>4162 Ba</b>	2126 Cd
2004-05	1990 Dc	<b>4945 Bc</b>	2277 Cd	<b>6283 Ab</b>	1617 Cc	<b>3764 Bc</b>	1915 Cd	<b>4752 Aa</b>
2005-06	1957 Cc	<b>5478 Ac</b>	<b>5784 Ab</b>	3697 Be	1627 Cc	<b>4205 Ac</b>	<b>3853 Ab</b>	3215 Bc
2006-07	3770 Ca	<b>9884 Aa</b>	5637 Bb	5235 Bc	2683 Ca	<b>6514 Aa</b>	4217 Ba	4047 Bb
Promedio	2599 C	7365 A	5418 B	4971 B	2012 C	4878 A	3606 B	3636 B

**Tabla 10.** Contenido y rendimiento de PB del F de digitaria correspondiente a tratamientos con fertilización nitrogenada discontinua. INTA San Luis.

Estac. de crecim.	Contenido medio anual de PB del F (%)				Rendimiento anual de PB del F (kg ha <sup>-1</sup> )			
	T1	T6	T7	T8	T1	T6	T7	T8
2001-02	5.3 Bd	<b>7.2 Ad</b>	<b>6.8 Ab</b>	<b>7.3 Aa</b>	125 Cb	<b>355 Ab</b>	<b>293 Bb</b>	<b>308 Bb</b>
2002-03	6.1 Bc	<b>7.5 Ac</b>	6.0 Bc	6.2 Bb	145 Da	<b>385 Ab</b>	191 Cd	215 Bd
2003-04	7.1 Ca	<b>9.6 Aa</b>	<b>9.6 Aa</b>	7.6 Ba	100 Dc	<b>454 Aa</b>	<b>400 Ba</b>	162 Ce
2004-05	6.0 Cc	<b>8.2 Ab</b>	6.1 Cc	<b>8.0 Ba</b>	97 Dc	<b>309 Bc</b>	117 Ce	<b>375 Aa</b>
2005-06	6.4 Db	<b>7.0 Ad</b>	<b>7.2 Ab</b>	5.5 Cc	104 Cc	<b>294 Ac</b>	<b>277 Ab</b>	177 Be
2006-07	5.7 Bd	<b>7.6 Ac</b>	5.7 Bc	5.8 Bb	153 Ca	<b>495 Aa</b>	240 Bc	235 Bc
Promedio	6.1 B	7.9 A	6.9 B	6.7 B	121 C	382 A	253 B	245 B

Para cada variable, valores seguidos de distintas letras, difieren signif. ( $p < 0,05$ ): mayúsculas, en la fila; minúsculas, en la columna. En negrita, tratamiento con fertilización nitrogenada.

# REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

## ABSORCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES Y NUTRIENTES SECUNDARIOS

### II. HORTALIZAS, FRUTALES Y FORRAJERAS

Ignacio A. Ciampitti y Fernando O. García

IPNI Cono Sur, Av Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

iciampitti@ipni.net

Disponer de información sobre absorción y extracción de nutrientes en hortalizas, frutales y forrajeras es esencial para la planificación del esquema de fertilización y la toma de decisiones en estos cultivos. Este trabajo de investigación y recopilación de bibliografía nacional e internacional, complementa el Archivo Agronómico N° 11, "Requerimientos nutricionales en Cereales, Oleaginosos e Industriales", publicado en nuestra Revista de Informaciones Agronómicas N° 33, Marzo 2007.

Un concepto importante que debemos recordar al momento de evaluar los requerimientos de los cultivos es la diferencia terminológica que se presenta entre las palabras, "absorción" y "extracción" de los cultivos. Se entiende por absorción la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. El término extracción, es la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados, grano, forraje u otros. La diferencia entre los términos es significativa al momento de las recomendaciones de fertilización, bajo el criterio de reposición. La reposición utilizando la absorción del cultivo implica la aplicación de todos los nutrientes que fueron tomados por el cultivo y que se encuentran presente en todos sus tejidos y órganos, cosechables y no cosechables. Sin embargo, la práctica de fertilización por los niveles de extracción de los cultivos, generalmente la más utilizada, sólo busca reponer los nutrientes que son absorbidos y depositados en tejidos y órganos cosechables, y que por lo tanto no son reciclados debido a que no vuelven a ingresar al sistema suelo. Los requerimientos nutricionales de los cultivos varían con el nivel de producción (fertilización y tecnología de manejo de cultivos), suelo, clima y ambiente, por lo que es necesario aclarar que los valores publicados en este archivo son orientativos y extraídos de variada bibliografía según la fuente consultada.

En el presente Archivo Agronómico (AA), focalizamos los requerimientos nutricionales de los principales cultivos, abarcando hortalizas, frutales, y forrajeros.

Las hortalizas incluyen cultivos en los que se comercializan desde algunas frutas (por ejemplo, tomates y calabazas), hojas (amaranto y repollo), raíces (zanahorias y nabo) e inclusive tallos (apio) y flores (coliflor). Esto nos permite caracterizar la complejidad y la precisión requerida para la fertilización de estos sistemas intensivos de producción.

La fertilización en frutales es una práctica de manejo muy importante, la necesidad de producir tempranamente y a un ritmo sostenido, en el monte frutal, donde la situación es compleja y se combinan diferentes factores de manejo, variedad, conducción y poda.

En la producción de forrajes, el objetivo principal es lograr la máxima cantidad de biomasa aérea total por unidad de superficie, teniendo en cuenta la calidad, estacionalidad y accesibilidad de la forrajimasa producida. La recirculación de nutrientes, la inclusión de especies leguminosas que generan simbiosis para fijar nitrógeno del aire, y las interacciones con las gramíneas generan un sistema com-

plejo que depende de la práctica de fertilización para una producción rentable, productiva y sustentable.

#### Hortalizas

La absorción total y la extracción en órganos cosechables de macronutrientes y nutrientes secundarios de los cultivos de arveja, guisantes, tomate, pepino, pimiento, choclo, zapallito, zapallo, calabaza, col, lechuga, apio, brócoli, coliflor, repollo, espinaca, palmito, espárrago, alcachofa, cebolla, mandioca, reomolacha, zanahoria, papa y batata, se presentan en la Tabla 1.

La Figura 1 nos permite observar los diversos niveles de extracción de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) en los diferentes órganos cosechables para rendimientos crecientes de tomate, lechuga, cebolla, zanahoria, papa y palmito. En el caso de N y K, el cultivo de tomate y papa presentan los mayores niveles de extracción por tonelada de órganos cosechables producida (Fig. 1 a y c). La extracción de Ca es superior en el cultivo de cebolla cuando se expresa en kg de nutriente por tonelada producida (Fig. 1 d). Excluyendo, a los brotes (espárrago, alcachofa y palmito) y los granos (arveja), las hortalizas presentan un hábito de absorción de N, P y K por tonelada, muy similar. La absorción de P en general es baja, menor de 1 kg de P por tonelada producida, como ocurre generalmente en la mayoría de los cultivos, con excepción de granos, oleaginosos e industriales. Con respecto a K, aproximadamente en promedio se cosecha entre el 50-60% de lo absorbido por el cultivo durante la estación de crecimiento. En comparación con otras hortalizas, excepto el tomate, el cultivo de papa requiere más nutrientes para producir una tonelada y, para el nutriente P, el índice de cosecha en papa es de 75-80% de lo absorbido durante la estación de crecimiento del cultivo.

#### Frutales y Nueces

Los requerimientos de absorción total de macronutrientes y nutrientes secundarios de los cultivos clasificados como frutales y nueces: almendro, ciruela, durazno, cereza, frutilla, damasco, membrillero, manzana, uva, pera, melón, kiwi, ananá, banana, palto, sandía, limón, mandarina, naranja, pomelo, pecán, macadamia, y nogal, se presentan en la Tabla 2.

En la Figura 2 podemos observar los niveles de extracción en órganos cosechables de N, P, K y Ca, para rendimientos crecientes de manzana, banana, durazno, uva, naranja y macadamia. En el caso de N, el cultivo de uva presenta los mayores niveles de extracción por tonelada de fruto producida, y el cultivo de macadamia es el que presenta una mayor extracción por la cantidad total que se exporta cuando la extracción la expresamos en términos de kg de nutriente en fruto cosechado por hectárea (Fig. 2 a). En el caso del cultivo de uva, claramente presenta los mayores niveles de extracción por hectárea, en P y Ca (Fig. 2 b y d) y, en el caso de K, presenta la mayor extracción por tone-

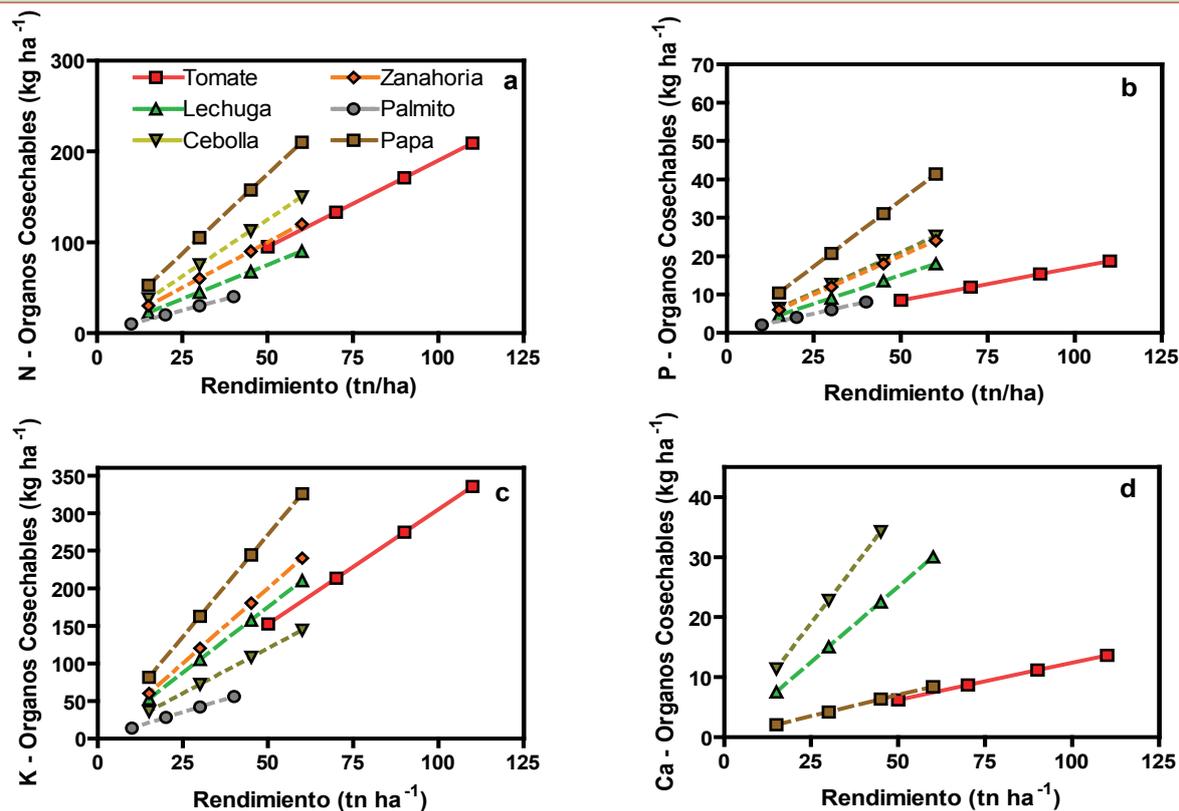


Figura 1. Extracción de nutrientes, N (a), P (b), K (c) y Ca\* (d) para distintos niveles de rendimiento de los cultivos hortícolas: tomate, lechuga, cebolla, zanahoria, papa y palmito. \*Para el caso del nutriente Ca no se encontró información confiable de la extracción en los cultivos de zanahoria y palmito.

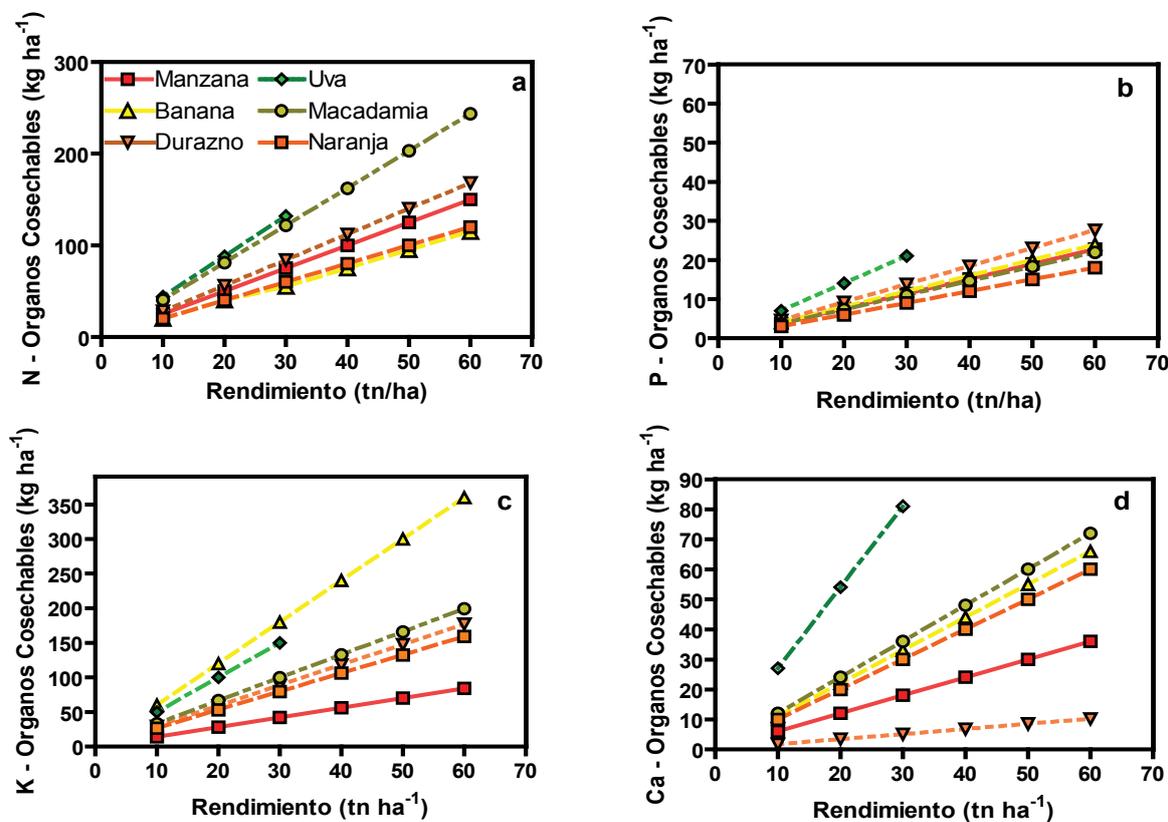


Figura 2. Extracción de nutrientes, N (a), P (b), K (c) y Ca (d) para distintos niveles de rendimiento de los cultivos frutales y nueces: manzana, banana, durazno, uva, naranja y macadamia.

lada de fruto producida. Con el nutriente K, el cultivo de banano es el que presenta la mayor extracción de nutriente en fruto cosechado por hectárea (Fig. 2 c).

### Forrajeros

Los requerimientos de extracción total de macronutrientes y nutrientes secundarios en los órganos cosechables de los cultivos clasificados como forrajeros: alfalfa, trébol rojo,

trébol blanco, trébol de cuernos, vicia, pasto ovido, raigrás, cebadilla, poa, alpiste, sorgo forrajero, festuca y festuca alta, se presentan en la Tabla 3.

En la Figura 3 podemos observar los niveles de requerimiento de N, P, K y S expresados en términos de extracción de nutrientes por tonelada de materia seca producida de forraje, para rendimientos crecientes de alfalfa, raigrás, trébol rojo, cebadilla y pasto ovido. Para el nutriente N,

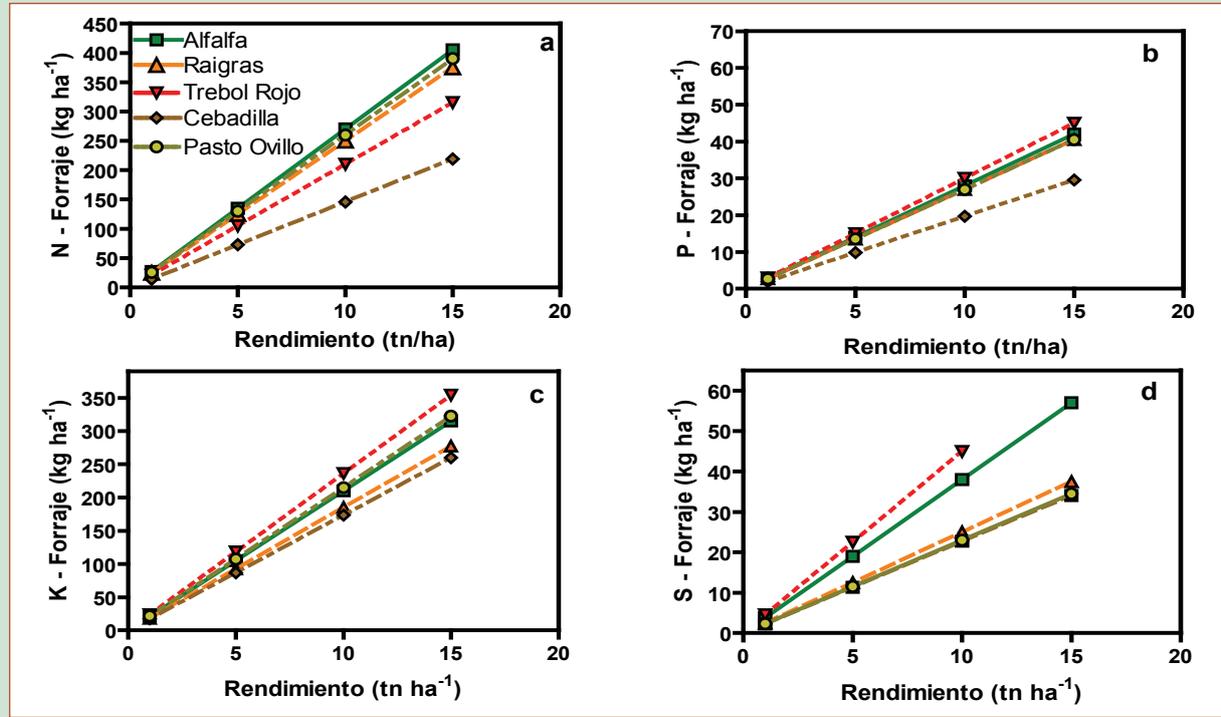


Figura 3. Extracción de nutrientes, N (a), P (b), K (c) y S (d) para distintos niveles de rendimiento de los cultivos forrajeros: alfalfa, raigrás, trébol rojo, cebadilla y pasto ovido.

Tabla 1. Hortalizas: cantidad de nutriente absorbido y extraído expresado en kg de nutriente por tonelada de órgano cosechable.

Cultivos	Nombre Científico	Órgano Cosechable	Absorción Total (kg/ton)						Extracción (kg/ton)						Fuente
			N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	
Arveja	<i>Pisum sativum L.</i>	granos	56.0	6.0	25.0	2.6	6.9	1.7	15.0	2.0	7.0	-	-	-	1 y 5
Guisantes	<i>Pisum sativum L.</i>	granos	20.8	2.8	14.8	8.9	1.7	-	12.5	1.7	8.9	5.3	1.0	-	5
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>	fruto	2.8	0.4	4.5	2.8	0.7	0.9	1.9	0.2	3.1	0.1	0.1	0.1	1, 3 y 15
Pepino	<i>Cucumis sativus L.</i>	fruto	4.0	0.7	5.3	2.0	1.1	-	1.5	0.5	3.5	-	-	-	1, 5 y 8
Pimiento	<i>Capsicum annum L.</i>	fruto	3.7	0.5	3.8	1.2	0.7	-	2.4	0.3	2.3	0.3	0.2	-	1, 11 y 12
Choclo	<i>Zea mays L.</i>	marlo	10.4	1.3	9.5	2.1	1.2	0.7	6.9	1.0	2.0	-	-	-	1 y 5
Zapallito	<i>Cucurbita pepo L. var. giromontina</i>	fruto	4.2	0.8	5.8	-	-	-	1	0.2	1.5	-	-	-	5
Zapallo	<i>Cucurbita maxima Dutch.</i>	fruto	4.2	0.3	4.8	-	-	-	1	0.2	1.5	-	-	-	1
Calabaza	<i>Cucurbita pepo L.</i>	fruto	4.0	0.6	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Col	<i>Brassica campestris L.</i>	hojas	4.2	0.7	5.0	0.9	0.5	0.8	3	0.4	2.6	-	0.5	-	1, 5 y 8
Lechuga	<i>Lactuca sativa L.</i>	hojas	2.0	0.5	4.3	0.9	0.2	-	1.5	0.3	3.5	0.5	-	-	1 y 8
Apio	<i>Apium graveolens L.</i>	hojas	1.7	0.4	3.7	-	-	-	0.3	0.1	0.4	0.1	0.1	-	1 y 8
Brócoli	<i>Brassica oleracea var. italica</i>	flores	3.4	0.8	3.5	-	-	-	2.1	0.6	1.6	-	-	-	1 y 7
Coliflor	<i>Brassica oleracea L.</i>	flores	4.7	0.8	6.5	3.5	0.4	1.2	3.0	0.6	3.0	-	-	-	1 y 5
Repollo	<i>Brassica oleracea L. var. capitata L.</i>	hojas	5.0	0.7	5.0	-	-	-	3.0	0.4	2.6	-	-	-	1 y 7
Espinaca	<i>Spinacia oleracea L.</i>	hojas	5.1	0.8	5.6	0.1	0.4	-	3.3	0.6	3.4	-	-	-	1 y 5
Palmito	<i>Chamaerops humilis L.</i>	brotos	12.0	1.0	10.0	-	-	-	1	0.2	1.4	-	-	-	1
Espárrago	<i>Asparagus officinalis L.</i>	brotos	19.3	2.9	17.9	10.0	0.9	-	9.6	1.6	8.5	-	-	-	1 y 5
Alcachofa	<i>Cynara scolymus L.</i>	brotos	8.0	2.0	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Cebolla	<i>Allium cepa L.</i>	bulbo	3.9	0.6	4.0	4.4	0.7	-	2.5	0.4	2.4	0.8	0.3	0.2	1 y 8
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i>	Raíz	4.5	0.7	6.3	2.9	2.4	0.3	2.5	0.5	3.1	-	-	-	1 y 5
Remolacha	<i>Beta vulgaris L.</i>	Raíz	6.0	0.7	8.5	1.9	1.2	-	3.5	0.4	3.5	-	0.6	-	1 y 5
Zanahoria	<i>Daucus carota L.</i>	Raíz	4.0	0.8	6.0	-	-	-	2	0.4	4	-	-	-	1 y 5
Papa	<i>Solanum tuberosum L.</i>	tubérculo	5.5	0.9	8.2	1.4	0.8	0.7	3.5	0.7	5.4	0.1	-	-	1, 2, 10 y 15
Batata	<i>Ipomoea batatas Lam.</i>	tubérculo	5.0	0.8	7.0	0.3	0.3	0.1	3.0	0.5	5.0	-	-	-	1

todos los cultivos presentan una gran extracción, siendo los más importantes la alfalfa, trébol rojo, pasto ovillo y el raigrás (Fig. 3 a). Se debe destacar que la alfalfa y el trébol rojo establecen una simbiosis con bacterias del género *Sinorhizobium* y *Rhizobium*, que le permite captar  $N_2$  atmosférico, a través del proceso de fijación biológica de nitrógeno. La extracción de los cuatro nutrientes por tonelada de organo cosechable en base seca y como exportación a nivel de producción por unidad de superficie, es superior en los cultivos de alfalfa y trébol rojo (Fig. 3). El pasto ovillo presenta valores elevados de extracción para los nutrientes N, P y K (Fig. 3 a, b y c).

### Bibliografía Consultada

1. **Bertsch F.** 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, ACCS-Universidad de Costa Rica-CIA. pág. 62-105.10.
2. **Contreras, A.** 2002. Ecofisiología del rendimiento de la planta de papa. 3º Seminario Internacional de la papa, Medellín, Colombia.
3. **Cristou M., Y. Dumas, A. Dirmikou y Z. Vassiliou.** 1999. Nutrient uptake by processing tomato in Greece. IWI. Proc 6th Int. ISHS Symp. On Processing Tomato. Acta Hort 487: 219-223.
4. **García F.O., F. Micucci, G. Rubio, M. Ruffo e I. Daverede.**

2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana - Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. INPOFOS Cono Sur, Argentina.

5. **IFA.** 1992. World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. pág. 37-550.

6. **INPOFOS.** Informaciones agronómicas del cono sur N° 4. Archivo agronómico N°3: Requerimiento nutricionales de los cultivos. Diciembre 1999.

7. **IPI.** Consultada el 14/09/07. <http://www.ipipotash.org/>

8. **IPNI Norte de Latinoamérica.** Consultada el 31/08/07.

<http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf>.

9. **IPNI NorthCentral-USA.** Consultada el 31/08/07. <http://www.ipni.net/ppiweb/usanc.nsf>.

10. **INIA.** 2002. Manual de Fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile, INIA N°76, Chile.

11. **Melgar R. y M. Díaz Zorita (Eds.)** 1997. La fertilización de cultivos y pasturas. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires. Argentina.

12. **Rincón L., J. Sáez y E. Balsalobre.** 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso bajo invernadero. Investigación Agraria. Vol. 10 (1): 47-59.

13. **Salazar-García S.** 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. INIFAP-INPOFOS.

14. **Silva H. y J. Rodríguez.** 1995. Fertilización de plantaciones frutales. Universidad Católica de Chile, 397 pp.

15. **SQM.** Nutritional Guides for quality crops. Consultada el 24/09/07. <http://www.sqm.com/aspx/en/Default.aspx>.

**Tabla 2. Frutales y Nueces:** cantidad de nutriente total absorbido y extraído en los órganos cosechables expresado en kg de nutriente por tonelada de organo cosechable (fruto o nuez).

Cultivos	Nombre Científico	Órgano cosechable	Absorción Total (kg/ton)						Extracción (kg/ton)						Fuente
			N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	
Almendro	<i>Prunus dulcis</i> Mill. DA Webb	fruto	83.3	-	-	-	-	-	35.3	9.1	11.0	-	0.2	0.2	5
Ciruela	<i>Prunus domestica</i> L.	fruto	6.5	0.9	6.0	-	0.5	-	4.5	0.6	4.2	-	-	-	1 y 5
Durazno	<i>Prunus persica</i> L.	fruto	5.1	0.7	4.6	0.8	-	-	2.8	0.5	3.0	0.2	0.3	-	5
Cereza	<i>Prunus cerasus</i>	fruto	6.4	-	-	-	-	-	1.8	1.9	12.8	-	-	-	5
Fruilla	<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.	fruto	10.2	2.5	12.7	-	-	-	2.9	0.5	3.2	-	-	-	5
Damasco	<i>Armeniaca vulgaris</i> Juss.	fruto	4.5	0.7	3.9	0.4	-	-	2.1	0.4	2.8	-	-	-	5
Membrillero	<i>Cydonia oblonga</i> Mill.	fruto	6.0	1.2	4.2	-	-	-	2.0	0.4	2.5	-	-	-	5 y 14
Manzana	<i>Malus pumila</i> Mill.	fruto	3.6	0.8	2.5	4.6	0.9	-	2.5	0.4	1.4	0.6	0.1	-	5 y 11
Uva	<i>Vitis vinifera</i> L.	fruto	6.9	1.0	8.0	5.8	1.0	-	4.4	0.7	5.0	2.7	0.7	-	1, 5 y 11
Pera	<i>Pyrus communis</i> L.	fruto	2.6	0.4	2.8	5.8	0.5	-	1.7	0.3	2.4	0.3	0.2	-	5 y 11
Melón	<i>Cucumis melo</i> L.	fruto	4.0	0.6	5.5	3.3	0.7	-	2.5	0.3	3.5	-	-	-	1 y 5
Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i> Chev.	fruto	6.5	-	-	-	-	-	4.7	0.6	6.6	6.5	1.1	0.8	5
Ananá	<i>Ananas comosus</i> L.	fruto	4.0	0.9	9.8	-	1.6	0.4	1.0	0.4	4.5	-	-	-	1 y 9
Banana	<i>Musa</i> spp.	fruto	8.4	1.1	8.3	4.0	1.5	0.7	2.0	0.4	6.0	1.0	-	-	1 y 5
Palto	<i>Persea americana</i> Miller	fruto	11.0	2.0	20.0	0.2	0.8	0.8	2.8	0.4	4.5	0.1	0.2	0.3	5 y 13
Sandía	<i>Citrullus lanatus</i> Thumb.	fruto	2.0	0.3	3.0	-	-	-	1.0	0.2	1.0	-	-	-	1 y 5
Limón	<i>Citrus limon</i> L. Burm.	fruto	6.3	0.7	4.4	-	-	-	1.6	0.2	1.7	0.7	0.2	0.1	5
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	fruto	4.4	0.4	4.5	-	0.6	0.5	1.5	0.2	2.0	0.7	0.2	0.1	5
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> Osbeck	fruto	5.7	0.7	5.3	-	0.7	0.8	2.0	0.3	2.6	1.0	0.4	0.5	1, 5 y 9
Pomelo	<i>Citrus grandis</i> L. Osbeck	fruto	2.5	0.4	4.3	-	-	-	1.1	0.1	2.0	0.4	0.1	0.1	5
Pecán	<i>Carya illinoensis</i>	nueces	-	-	-	-	-	-	8.1	1.9	3.7	-	0.5	3.1	5
Macadamia	<i>Macadamia ternifolia</i>	nueces	6.0	0.7	-	3.4	0.6	-	4.1	0.4	3.3	1.2	-	-	5
Nogal	<i>Juglans regia</i> L.	nueces	14.7	1.9	10.4	1.6	0.9	-	8.4	0.8	9.6	4.9	1.0	-	5 y 14

**Tabla 3. Cultivos Forrajeros:** cantidad de nutriente total extraído expresado en kg de nutriente por tonelada de organo cosechable.

Cultivos	Nombre Científico	Órgano cosechable	Absorción Total (kg/ton)						Extracción (kg/ton)						Fuente
			N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	27.0	2.8	21.0	12.0	2.8	3.8	4, 5 y 9
Trébol Rojo	<i>Trifolium pratense</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	21.0	3.0	23.6	-	3.2	4.5	4, 5 y 9
Trébol Blanco	<i>Trifolium repens</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	30.0	3.3	20.0	-	-	3.0	5 y 6
Trébol de cuernos	<i>Lotus corniculatus</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	20.5	2.2	15.8	-	-	-	9
Vicia	<i>Vicia sativa</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	25.9	3.0	18.5	-	-	-	9
Pasto Ovillo	<i>Dactylis glomerata</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	26.0	2.7	21.5	-	2.3	2.3	4, 5 y 11
Raigrás	<i>Lolium</i> sp.	forraje	-	-	-	-	-	-	25.0	2.7	18.5	4.9	3.6	2.5	4, 5 y 9
Cebadilla	<i>Bromus unioloides</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	14.6	2.0	17.3	-	-	2.3	5 y 9
Poa	<i>Poa annua</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	13.6	2.4	17.3	-	1.6	2.3	9
Alpiste	<i>Phalaris arundinacea</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	12.7	1.9	16.6	-	-	-	9
Sorgo Forrajero	<i>Sorghum bicolor</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	10.6	2.8	12.7	-	2.1	2.6	4, 5 y 9
Gramilla	-	forraje	-	-	-	-	-	-	8.6	2.0	9.6	-	1.0	1.5	4 y 9
Festuca	<i>Festuca pratensis</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	16.8	2.4	20.3	-	1.7	2.6	5 y 9
Festuca Alta	<i>Festuca arundinacea</i>	forraje	-	-	-	-	-	-	25.0	3.0	26.0	5.6	2.5	2.5	4 y 9

- Datos no disponibles

# ¿CUÁNTAS SUBMUESTRAS DE SUELO HAY QUE TOMAR PARA CARACTERIZAR LA FERTILIDAD DE UN LOTE EN LA PAMPA ONDULADA?

Roberto Alvarez, Haydée S. Steinbach, Bernardo Bauschen y Jean N. Enjalbert

Facultad de Agronomía, UBA, Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina.

ralvarez@agro.uba.ar

## Introducción

El muestreo de suelos para el diagnóstico de la fertilidad y recomendación de fertilización se ha convertido en una práctica corriente en la Región Pampeana. Generalmente, la unidad de manejo es el lote, pero pueden serlo partes del lote, que representen ambientes distintos, como por ejemplo zona alta y zona baja, en las situaciones que sea necesario aplicar manejos diferentes con condiciones de fertilidad contrastantes. De cada unidad de manejo se genera una muestra compuesta, que es la combinación de varias submuestras tomadas de diferentes lugares. Una pregunta que comúnmente se plantea, al momento de realizar el muestro de suelos, es ¿qué cantidad de submuestras es adecuada para caracterizar la fertilidad del lote?

Se ha difundido la idea que entre 20 y 30 submuestras por lote es una cantidad adecuada (Mallarino, 2001; Roberts y Henry, 2000), cuando se va a aplicar un manejo uniforme, aunque en la práctica es común sacar una cantidad menor de submuestras. Con unas 30 submuestras la distribución de frecuencias del grupo de datos tiende a la normalidad, distribución que se asume para muchas variables edáficas (Nelson, 1999). Sin embargo, el error que se comete al estimar la media de la población (valor real de la variable de fertilidad de interés) puede ser mayor al aceptable con esta cantidad de submuestras, disminuyendo al incrementar el número de las mismas (Nelson, 1999; Roberts y Henry, 2000).

Se puede estimar la cantidad de submuestras necesarias para caracterizar la fertilidad del suelo realizando un muestreo previo que permita conocer la variabilidad de las propiedades a evaluar (Petersen y Calvin, 1996). A partir de la variabilidad encontrada en el premuestreo, se estima la cantidad de submuestras a tomar en el muestreo definitivo para no exceder un error aceptable en la determinación de la fertilidad. En el uso agronómico esto se torna irrealizable y es necesario un criterio de muestreo predefinido al momento de ejecutar el mismo.

Algunas propiedades tienen mayor variabilidad que otras, por ejemplo, el contenido de carbono orgánico es menos variable que el nivel de nitratos o de fósforo extractable del suelo (Mallarino, 2001; Vázquez y Leroux, 1983). Algunos trabajos locales que han investigado el número de submuestras necesarias para caracterizar la fertilidad nitrogenada de suelos de la Pampa Ondulada han recomendado valores tan distintos como 30-40 submuestras por lote (Vázquez y Leroux, 1983) hasta 30-110 submuestras por

lote según el error aceptado (Barberis et al., 1977). Estos resultados contrastantes indican que es necesario profundizar en el estudio de la variabilidad de las propiedades comúnmente determinadas para caracterizar la fertilidad de los suelos.

En este trabajo evaluamos la variabilidad de algunas propiedades que se usan habitualmente en la caracterización de la fertilidad edáfica, en dos situaciones representativas de la Pampa Ondulada, a fin de estimar el número de submuestras necesario para no exceder un error aceptable.

## Materiales y métodos

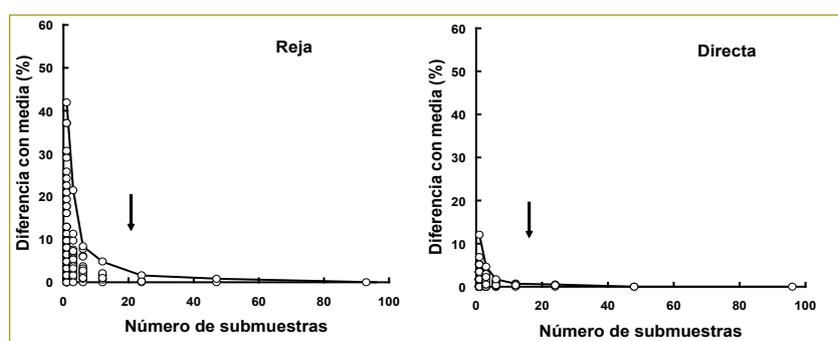
Se eligieron dos lotes de la Pampa Ondulada con Argiudoles Típicos de textura franco arcillo limosa, relieve ondulado y larga historia de uso bajo rotación pastura-agricultura. Los lotes habían estado al menos los últimos tres años bajo agricultura, siendo los cultivos principales trigo, soja y maíz, y los sistemas de labranza en un caso arado de reja y vertedera y en el otro siembra directa. El trigo y maíz eran fertilizados con nitrógeno, principalmente al voleo, y con fósforo en bandas a la siembra. El último cultivo había sido en los dos lotes maíz. La superficie de ambos lotes era de aproximadamente 100 ha, realizándose el muestro antes de la siembra de los cultivos de verano. Se dividió la superficie de los lotes en una grilla con cuadrados de 1 ha, tomándose en cada cuadrado una submuestra en el centro del mismo de 0 a 30 cm con barreno de 2 cm de diámetro. Debido a la forma de los lotes, en algunos casos la distancia del punto de muestreo al alambrado fue menor de 50 m, pero en ningún caso menor a 30 m y, en consecuencia, algunos cuadrados tuvieron menos de 1 ha (aprox. 0.8 ha). Se tomaron 96 submuestras por lote que no se mezclaron y se analizaron por separado determinándose pH, carbono orgánico, nitrógeno de nitratos y fósforo extractable (Tabla 1).

Se tomó al promedio de los valores de las propiedades determinadas para el total de submuestras como el mejor estimador del valor poblacional (muestra numerosa) y se agrupó los valores de las submuestras en grupos menores (muestras). Primero se generaron dos muestras integradas cada una por la mitad de las submuestras, luego cuatro muestras integradas cada una por un cuarto de las submuestras y se siguió subdividiendo de esa manera hasta tener muestras formadas por una sola submuestra. Las agrupaciones se hicieron de forma lógica y no al azar, combinando valores de submuestras de la manera que las hubiera tomado una persona que quisiera muestrear los lo-

tes recorriéndolos en un diseño de "banda griega". Por consiguiente, no se agruparon en ningún caso muestras contiguas sino lo mas separadas posibles. En el caso del lote bajo siembra directa se verificó que no existieran diferencias entre los promedios de las situaciones hilera, entresurco e intermedia. Al no detectarlas se combinaron submuestras como se indicó. Se calcularon los promedios de las variables para las muestras integradas por diferente cantidad de submuestras y se calcularon las diferencias en valor absoluto con la media numerosa, expresando esas diferencias de manera porcentual a la misma. Por métodos gráficos se estimó el máximo desvío porcentual de los promedios en relación a la muestra numerosa, ajustando una función de máxima, y sobre la función de máxima, el número de submuestras necesario para no tener un desvío respecto de ella mayor al 10%, como error aceptable, para carbono orgánico (aprox. 0.2%), nitrógeno de nitratos (aprox. 0.7 ppm) y fósforo extractable (aprox. 1.1 ppm). Para pH, por ser una variable logarítmica, se fijó el error aceptable en 1.6 % de la media (aprox. 0.1).

## Resultados y discusión

La variabilidad de las propiedades se incrementó en el orden: pH < carbono orgánico < nitratos < fósforo extractable y, la misma tendencia mostraron las diferencias entre las medias de muestras pequeñas respecto de la muestra numerosa (Figs. 1, 2, 3 y 4). Para no exceder el error considerado aceptable respecto de la media de la muestra numerosa era necesario tomar 6-24 submuestras para pH, 10-12 para carbono orgánico, 15-25 para nitratos y 45-55 para fósforo extractable.



**Figura 1.** Diferencia porcentual entre los promedios de valores de pH de muestras compuestas por diferente cantidad de submuestras y una muestra de gran tamaño ( $n = 96$ ) en dos lotes agrícolas manejados bajo sistemas de labranza contrastantes. Se ha ajustado una función a los casos de diferencias máximas. Las flechas indican el número de submuestras mínimo para que en ningún caso las diferencias con el promedio de la muestra de gran tamaño difieran en más de un 1.6 % de este último.

El criterio, muchas veces aplicado a nivel agronómico, de tomar 20-30 submuestras por lote parece adecuado para pH, carbono orgánico y nitratos, pero hubiese inducido, en varias de las muestras posibles de extraer, a tener diferencias con la media de la muestra numerosa de 25-50 % para fósforo extractable (2.5-6.0 ppm). Este error es demasiado grande en el diagnóstico de la fertilidad e induciría recomendaciones de fertilización erróneas (Ortega et al., 2000). Estos resultados se deben en parte a que la distribución de frecuencias de la variable fósforo extractable no es normal sino que sigue una distribución asimétrica hacia la derecha, con algunos valores muy altos (Roberts y Henry, 2000). Estos se generan en pequeños sectores de los lotes donde el nivel de fósforo es mucho mayor al promedio y la toma de alguna submuestra en ellos afecta la media de la muestra induciendo una sobrestimación de la fertilidad fosforada (Gutierrez Boem y Marasas, 2005). En nuestro caso, las zonas de los lotes con muy altos contenidos de fósforo extractable (mas del doble de la media) representaban un 8-10% de su superficie, pero por otro lado, zonas con valores muy bajos (menos de la mitad de la media) representaban un 30-40% de la misma. Las zonas de altos o bajos niveles de fósforo no podían asociarse con factores topográficos, de manejo o de otra índole.

A nivel de producción es común encontrar registros de niveles de fósforo de lotes que presentan cambios enormes entre diferentes muestreos, a veces dentro de un mismo año. Estos cambios no tienen tendencia en el tiempo subiendo y bajando los resultados sin patrón entendible. Este problema lleva a algunos técnicos a usar para la recomendación de fertilización un promedio de los análisis realizados en los últimos años, y no el resultado del análisis realizado a la siembra del cultivo a fertilizar. Debe buscarse la raíz de este problema en fallas del muestreo más que en posibles errores analíticos cometidos en el laboratorio.

Para el muestreo de fósforo extractable no resulta suficiente tomar 20-30 submuestras por lote y se debe incrementar la cantidad a tomar. En el caso de los lotes estudiados aquí un número adecuado resultó 50. En la práctica esta cantidad es excesiva para tomar todos los años en muchos lotes. Para caracterizar la fertilidad fosforada

**Tabla 1.** Variabilidad de las propiedades evaluadas.

Lote	Medida	pH	Carbono (%)	N-nitrato (ppm)	P extractable (ppm)
Reja	Rango	5.4 - 8.8	1.1 - 3.2	0.4 - 17	1.8 - 67
	Promedio	6.2	2.2	6.6	10
	CV	10	17	41	97
Directa	Rango	5.5 - 6.5	0.9 - 1.8	2.8 - 13	2.0 - 257
	Promedio	5.8	1.4	7.7	12
	CV	2	11	22	220

\*CV= coeficiente de variación

de los suelos, teniendo en cuenta la baja velocidad de cambio temporal del fósforo (Bullock, 2000), la recomendación más adecuada parece hacer muestreos intensivos cada 2-4 años en lugar de realizar muestreos de baja intensidad todos los años. Este tipo de recomendación ya se ha realizado anteriormente en otros países (Mallarino, 2001).

En cuanto a la relación entre el número de submuestras necesario y el tamaño del lote, algunos estudios indican que el aumento de la superficie a muestrear determina la necesidad de incrementar levemente el número de submuestras que se deben extraer (Roberts y Henry, 2000). Por ejemplo, para un lote del doble de superficie que otro se necesitan solo un 10% más de submuestras para mantener el error en un límite aceptable. En consecuencia, podría generalizarse que con 25 submuestras por lote o unidad de muestreo podemos caracterizar el pH y los contenidos de carbono orgánico y nitratos de los suelos, siendo necesario duplicar la cantidad de submuestras cuando se desea definir la fertilidad fosforada.

## Bibliografía

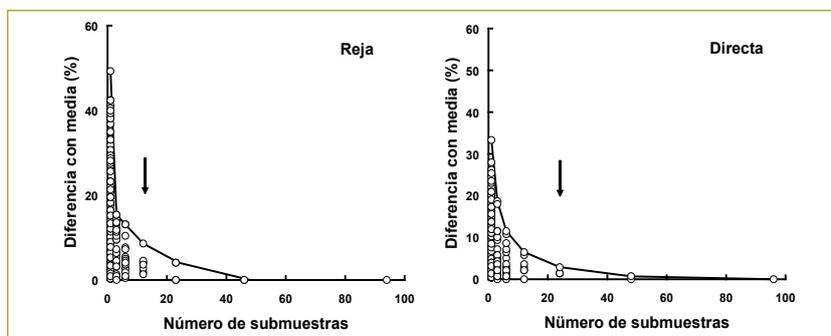
- Barberis L.A., D. Zourarakis y D. Sunde.** 1977. Influencia de las técnicas de muestreo y acondicionamiento en la determinación del nivel de nitratos en suelo. III Reunión Nacional de Fertilidad y Fertilizantes, actas C/8: 1-14.
- Bullock D.** 2000. Análisis de suelos. Algunas ideas acerca de precisión y producción bajo siembra directa. INPOFOS Cono Sur. Informaciones Agronómicas 6: 1-4.
- Gutiérrez Boem F.H. y P.A. Marasas.** 2005. Pequeñas zonas con altas concentraciones de P causan grandes errores en la determinación de P disponible a nivel lote. INPOFOS Cono Sur. Informaciones Agronómicas 25: 9-11.
- Mallarino A.P.** 2001. Manejo de nutrientes sitio-específico con énfasis en el muestreo de suelos y la fertilización variable con fósforo y potasio. Jornada de Actualización Técnica para profesionales-Fertilidad 2001. Ed. INPOFOS Cono Sur, pág. 8-12.
- Nelson L.** 1999. Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Ed. INPOFOS Norte de Latinoamérica, 66 pág.
- Ortega R., M. Flores y C. Quilamapu.** 2000. Agricultura de precisión: introducción al manejo sitio-específico. INPOFOS Cono Sur. Informaciones

Agronómicas 7: 1-5.

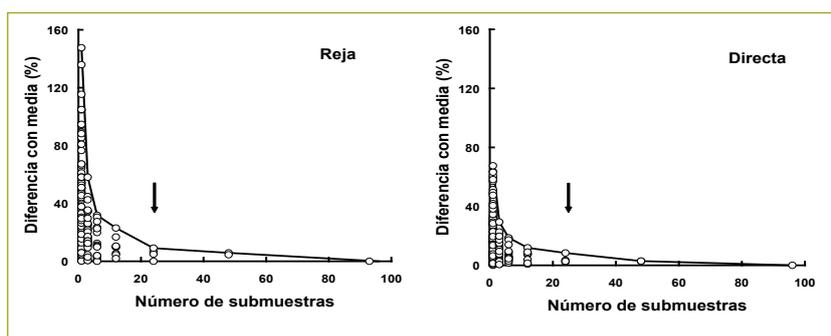
**Petersen R.G. y L.D. Calvin.** 1996. Sampling. En: Methods of soil analysis, Part 3-Chemical methods, pág. 1-17.

**Roberts T.L. y J.L. Henry.** 2000. El muestreo de suelos: los beneficios del buen trabajo. INPOFOS Cono Sur. Informaciones Agronómicas 8: 7-10.

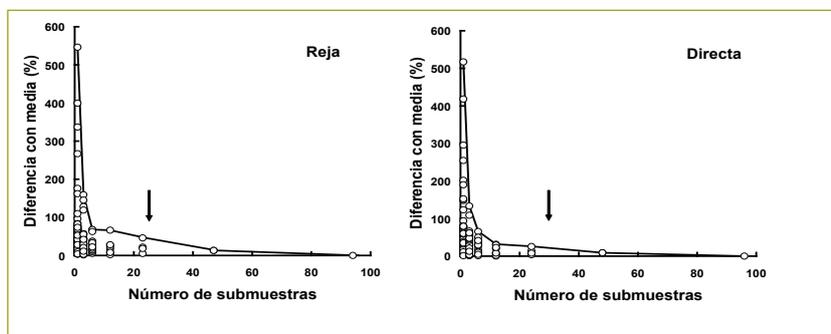
**Vázquez M.E. y G. Leroux.** 1983. Estudio de la variabilidad edáfica de algunas determinaciones químicas a través de un muestreo compuesto. Rev. Fac. Agronomía-UBA 4: 7-13. <



**Figura 2.** Diferencia porcentual entre los promedios de valores de carbono orgánico de muestras compuestas por diferente cantidad de submuestras y una muestra de gran tamaño ( $n = 96$ ) en dos lotes agrícolas manejados bajo sistemas de labranza contrastantes. Se ha ajustado una función a los casos de diferencias máximas. Las flechas indican el número de submuestras mínimo para que en ningún caso las diferencias con el promedio de la muestra de gran tamaño difieran en más de un 10% de este último.



**Figura 3.** Diferencia porcentual entre los promedios de valores de nitratos de muestras compuestas por diferente cantidad de submuestras y una muestra de gran tamaño ( $n = 96$ ) en dos lotes agrícolas manejados bajo sistemas de labranza contrastantes. Se ha ajustado una función a los casos de diferencias máximas. Las flechas indican el número de submuestras mínimo para que en ningún caso las diferencias con el promedio de la muestra de gran tamaño difieran en más de un 10% de este último.



**Figura 4.** Diferencia porcentual entre los promedios de valores de fósforo extractable de muestras compuestas por diferente cantidad de submuestras y una muestra de gran tamaño ( $n = 96$ ) en dos lotes agrícolas manejados bajo sistemas de labranza contrastantes. Se ha ajustado una función a los casos de diferencias máximas. Las flechas indican el número de submuestras mínimo para que en ningún caso las diferencias con el promedio de la muestra de gran tamaño difieran en más de un 10% de este último.

# EFECTO DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ Y EL BALANCE DE NUTRIENTES EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

## CAMPAÑA 2006/07

Gustavo N. Ferraris<sup>1</sup>, Lucrecia Couretot<sup>1</sup>, Mirta Toribio<sup>2</sup> y Ricardo Falconi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INTA Pergamino, <sup>2</sup>Profertil S.A. Investigación y Desarrollo, <sup>3</sup>El Ceibo Cereales S.A.  
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

### Introducción

El nitrógeno (N) es uno de los principales elementos requeridos para la producción de los cultivos de grano en la Región Pampeana Argentina. Deficiencias de este elemento reducen la expansión foliar, provocan su prematura senescencia y afectan la tasa fotosintética, dando como resultado una menor producción de materia seca y grano. Por otra parte, la disponibilidad de N afecta su concentración en el grano, interviniendo así en la determinación del contenido proteico, parámetro principal para definir la calidad comercial del grano cosechado. La incidencia de N sobre los dos factores, rendimiento y contenido de proteína, hacen que su manejo sea estratégico para la producción del cultivo.

Por otra parte, las estrategias de fertilización con fósforo (P) implementadas en Argentina han determinado un balance claramente negativo, por el retiro de cantidades importantes con los granos que no eran repuestas al sistema. Por este motivo, desde principios de la década del '80 se han observado respuestas positivas por el agregado de P en trigo, maíz y luego otros cultivos. Desde entonces, la disponibilidad de este nutriente en los suelos de la región ha disminuido marcadamente y, como consecuencia, en los últimos años aumentó el uso de fertilizantes fosforados. Es prioritario entonces diseñar estrategias que contemplen la reposición de las cantidades de nutrientes exportadas con los granos, y en el caso en que dichos niveles se encuentren por debajo de los umbrales críticos sugeridos, su restitución paulatina mediante fertilización.

Las respuestas al agregado de azufre (S) en cultivos de maíz en el sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires se han vuelto más frecuentes en las últimas campañas (Cordone et al., 2001; Pedrol et al., 2001; Thomas et al., 2001), por lo que la fertilización con este nutriente es habitual en lotes de alta producción.

A su vez, las situaciones de baja disponibilidad de N, P y S no ocurren de manera aislada, sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar la respuesta a la fertilización y conocer los cambios de los niveles de nutrientes en los suelos de manera conjunta. Con el propósito de estudiar la evolución en el tiempo de los rendimientos, el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo se diseñó un ensayo de estrategias de fertilización en la secuencia Maíz-Soja-Cebada/Soja-Trigo/Soja. El proyecto se inició en la campaña 2006/07, siendo Maíz el primero de los cultivos implantados. Los objetivos del trabajo durante el primer año fueron: 1. Evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento del cul-

tivo y 2. Cuantificar y valorizar el balance de nutrientes correspondiente a cada una de las estrategias.

### Materiales y Métodos

El ensayo es conducido en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales. Se plantea un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones. Se mantendrá por un plazo mínimo de cuatro años, abarcando una rotación Maíz- Soja – Cebada/Soja de 2da. – Trigo/Soja de 2da. El inicio de la secuencia se realizó con el cultivo de Maíz en 2006/07.

Las estrategias de fertilización evaluadas son las siguientes:

➤ **T1: Testigo** sin fertilización.

➤ **T2: Fertilización con tecnología de uso actual (TUA):** 80 kg / ha de superfosfato triple de calcio + 120 kg/ha de urea.

➤ **T3: Fertilización de diagnóstico:** Reposición para fósforo (P) y azufre (S) (considerando 4000 kg de trigo y cebada, 2500 de soja de segunda, 10000 kg de maíz y 3800 kg de soja de primera). Nitrógeno hasta alcanzar una disponibilidad de 150 kg/ha entre suelo (0-60 cm) y fertilizante para maíz, 125 kg/ha para trigo y cebada.

➤ **T4: Fertilización de diagnóstico para alta productividad, con manejo sitio específico:** Reposición para P y S (considerando 5000 kg de trigo y cebada, 2500 de soja de segunda, 12000 kg de maíz y 3800 kg de soja de primera). En todos los cultivos se ajustará la estrategia de fertilización nitrogenada implementada a la siembra usando herramientas de manejo sitio-específico.

➤ **T5: Fertilización de diagnóstico con manejo sitio específico y restitución de niveles de P:** Reposición para S (considerando 5000 kg de trigo y cebada, 2500 de soja de segunda, 12000 kg de maíz y 3800 kg de soja de primera) y P con una estrategia de reposición + 16 kg P/ha (con el objetivo de incrementar su disponibilidad en 2 ppm/año). En todos los cultivos se ajustará la estrategia de fertilización nitrogenada implementada a la siembra usando herramientas de manejo sitio-específico.

Los fertilizantes fosforados y nitrogenados se aplicaron al voleo al momento de la siembra. Como fuentes se utilizaron superfosfato triple de calcio (0-20-0), urea granulada (46-0-0) y sulfato de calcio (0-0-0-18S).

### Determinaciones básicas realizadas

Previo a la siembra se obtuvieron muestras de suelo

de 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm de profundidad. De cada bloque se extrajo una muestra compuesta. En la muestra de 0 a 20 cm de profundidad se determinó el pH y los contenidos de materia orgánica, fósforo extractable (Bray I), cationes intercambiables (K, Ca, Mg) y micronutrientes (Zn, B, Fe, Mn, Cu, B). El contenido de nitratos y sulfatos se determinó de 0 a 20, de 20 a 40 y de 40 a 60 cm de profundidad.

En el estado V7-V8 sobre la 7ma hoja expandida se determinó el índice de verdor a través del medidor de clorofila Minolta Spad 502, y a cosecha se evaluó el rendimiento. En una muestra de grano de cada parcela se cuantificó el contenido de N, P y S. Con los datos de rendimiento, concentración de nutrientes en grano y dosis aplicada de los mismos se realizó un balance de nutrientes.

Para cada estrategia de fertilización, se estimó una valorización económica del balance de N, P y S, y el margen bruto con o sin valorización de la extracción de nutrientes. Los precios considerados de N, P y S fueron de 3.3, 8 y 3.5 \$/kg equivalentes a 500, 540 y 210 U\$/tn de urea, SFT y sulfato de calcio, respectivamente. El precio de maíz utilizado fue de 470 U\$/tn (actualizado a febrero de 2008).

## Resultados y Discusión

La información del análisis completo de suelo previo a la siembra, se consigna en la Tabla 1. No se

comprobaron diferencias en el índice de verdor entre tratamientos ( $P=0.8$ ; Fig. 1). En cambio, se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de grano ( $P=0.001$ ; Fig. 2). Los tratamientos de máxima dosis de N alcanzaron los mayores niveles de productividad, no difiriendo significativamente entre sí, aún cuando el tratamiento de reconstrucción de P alcanzara una producción de  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  por sobre el de mantenimiento.

La concentración de N, P y S en grano difirió entre los tratamientos (Tabla 2). En N se notó una mayor concentración en los tratamientos que recibieron una mayor dosis, y diferencias marcadas entre las distintas estrategias. El porcentaje de N en grano fue bajo, dentro de los valores más reducidos que pueden recopilarse en la bibliografía. En P en cambio, los tratamientos que recibieron reposición, a causa de sus mayores rendimientos, alcanzaron concentraciones más bajas que los tratamientos T1 (Testigo) y T2 (TUA). En el T5, fertilizado con una dosis de reconstrucción, se alcanzó el nivel de P en grano de los tratamientos T1 y T2. Para el S no se observó una tendencia clara, siendo la concentración en grano similar entre los tratamientos fertilizados (T3, T4 y T5) y no fertilizados (T1 y T2). Los valores de extracción determinados en este ensayo abarcaron un rango de  $2.04$  a  $2.46 \text{ kg P tn}^{-1}$  de grano cosechado, y de  $0.59$  a  $0.70 \text{ kg S tn}^{-1}$  (base 13.5 % de humedad). Estos valores son ligeramente inferiores a los que pueden derivarse de

**Tabla 1.** Análisis de suelo al momento de la siembra. Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Profundidad	MO	pH	N total	N- Nitratos	P	S- Sulfatos	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Fe	B
(cm)	(%)		(%)	(ppm)										
0-20	2.38	5.6	0.119	17.8	8.5	13.8	520	194	1302	0.7	23.4	0.8	62.9	0.9
20-40				9.0		10.8								
40-60				4.9		10.1								

**Tabla 2.** Concentración (%) de nitrógeno, fósforo y azufre en granos de maíz, expresados sobre base seca. Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento		%N	%P	%S
T1	Testigo	1.01	0.28	0.08
T2	TUA	1.08	0.28	0.07
T3	PS rep - N diag 10 t	1.07	0.25	0.08
T4	PS rep - N diag 12 t	1.17	0.24	0.08
T5	PS reconstr - N diag 12 t	1.28	0.28	0.08
P=		0.00	0.03	0.01
CV (%)		4.76	8.43	5.47

**Tabla 4.** Valorización económica (\$/ha) del balance de nitrógeno, fósforo y azufre en cada estrategia.

Tratamiento		Balance (\$/ha)		
		N	P	S
T1	Testigo	-269	-178	-23
T2	TUA	-185	-85	-22
T3	PS rep - N diag 10 t	-152	29	34
T4	PS rep - N diag 12 t	-161	65	45
T5	PS reconstr - N diag 12 t	-214	145	43

**Tabla 3.** Balance de nitrógeno, fósforo y azufre para los diferentes tratamientos. Los datos de rendimiento y concentración de nutrientes en grano fueron ajustados a 13 % de humedad.

Tratamiento		Aplicado (kg/ha)			Extracción (kg/ha)			Balance (kg/ha)		
		N	P	S	N	P	S	N	P	S
T1	Testigo	0	0	0	82	23	6	-82	-23	-6
T2	TUA	46	16	46	102	27	6	-56	-11	-6
T3	PS rep - N diag 10 t	69	30	69	115	26	8	-46	4	10
T4	PS rep - N diag 12 t	89	36	89	138	28	9	-49	8	13
T5	PS reconstr - N diag 12 t	89	52	89	154	34	10	-65	18	12

Ciampitti y García (2007), los cuales alcanzarían a 3 y 1.4 kg tn<sup>-1</sup> de grano para P y S, respectivamente. Sobre la base de los rendimientos, la concentración de nutrientes en grano y los aportes por fertilización, se generaron balances para cada uno de los tratamientos. El porcentaje de NPS en grano fue ajustado a humedad de cosecha, para no sobreestimar la extracción. El balance fue deficitario para todas las estrategias en cuanto a N, y para las dos primeras estrategias (Testigo y TUA) en el caso de P y S. A su vez, la magnitud de este balance difirió considerablemente entre tratamientos, siendo más positivo en el tratamiento de reconstrucción, mientras que el más negativo fue el Testigo. Estos balances representan un costo o beneficio oculto de las estrategias de fertilización, que deberían ser incluidos en los análisis de rentabilidad de los cultivos, ya que están en relación directa con el potencial productivo futuro de los suelos (Tabla 4). Esta situación ocurre para el caso de P y S, nutrientes con efecto residual en los próximos cultivos de la rotación. En el caso del N, es aceptado que no debe manejarse bajo el criterio de reposición, ya que los excedentes que no son absorbidos por el cultivo salen del sistema, fundamentalmente por lixiviación de nitratos durante el otoño. Sin embargo, en una rotación intensiva como la que se planifica en este experimento, de seis cultivos en cuatro años, el N cicla en los vegetales y permanece en mayor proporción bajo formas orgánicas, en los residuos y la biomasa microbiana. Siendo nuestros sistemas

productivos deficitarios en N, pareciera entonces pertinente incluir el balance de N en el análisis real de rentabilidad del sistema, como se presenta en la Figura 3. En esta Figura se destaca también que, bajo la situación actual de buenos precios de los granos, las estrategias de alta fertilización, al posibilitar los mayores rendimientos, alcanzan los márgenes más altos aún cuando se invierta más en fertilizantes.

### Conclusiones

- Las estrategias de fertilización evaluadas, en el primer año de ensayos, alcanzaron niveles contrastantes de rendimientos. La concentración de nutrientes en los granos difirió entre tratamientos, siendo el N, el nutriente que experimentó el rango de variación más amplio.
- Como consecuencia de las variaciones en los rendimientos, se observaron cambios en la rentabilidad a causa de las diferentes estrategias. Las de alta fertilización alcanzaron los mayores niveles de rentabilidad. Esto se ve acentuado cuando se pondera el balance de nutrientes en el sistema. Aunque el "costo oculto" provocado por un balance negativo de nutrientes no es tenido en cuenta en los análisis económicos, debería considerarse al evaluar la rentabilidad de los cultivos ya que guarda relación directa con el potencial productivo de los suelos.

### Referencias Bibliográficas

Cordone G., F. Martinez, R. Abrate, J. Capurro, A. Gargicevich, O. Gentili, J. Mendez, G. Prieto y N. Trentino. 2001. Fertilización de maíz en distintos ambientes de la Región Pampeana Norte. *Informaciones Agronómicas* 11: 15-17.

Ciampitti, I., y G. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. En: *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 33: 13-16. *Archivo agronómico* N° 11. 4 pp.

Pedrol H., F. Salvagiotti, J. Castellarán, N. Trentino, J. Mendez, J. Capurro, J.C. Felizia, O. Gentili, A. Gargicevich, G. Prieto, D. Damen y A. Gelin. 2001. Respuesta de maíz a nitrógeno y azufre en sistemas agrícolas del sur de Santa Fe. VII Congreso Nacional de Maíz.

Thomas A., M. Boxler, B. Alvarez de Toledo, R. Houssay, L. Martín, A. Berardo y F.O. García. 2001. Red de nutrición CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2000/2001: Maíz. *Informaciones Agronómicas* 11: 5-10.

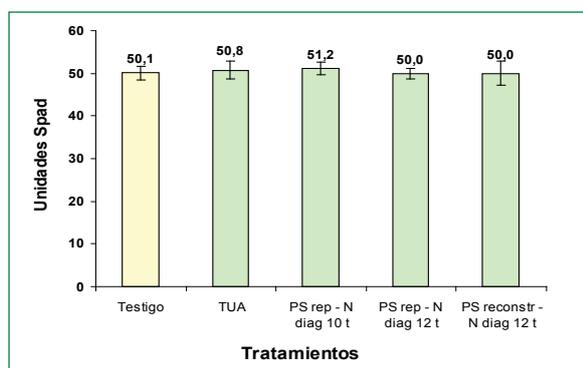


Figura 1. Índice de verdor (unidades Spad) para las diferentes estrategias de fertilización evaluadas en el ensayo. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media.

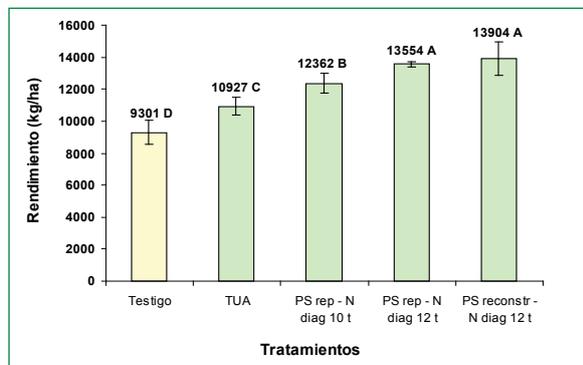


Figura 2. Rendimiento de grano de diferentes estrategias de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación standard de la media. Arribeños, General Arenales. Campaña 2006/07.

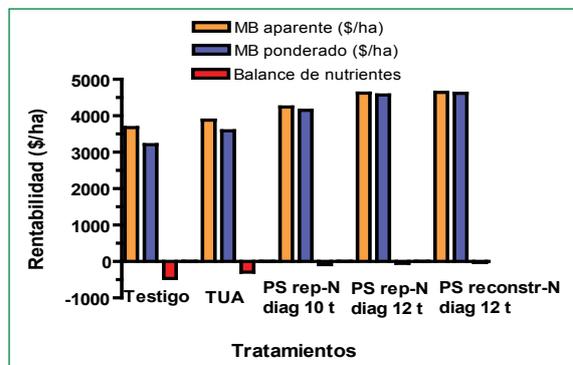


Figura 3. Margen bruto aparente del cultivo de maíz (sin considerar la salida o ingreso de nutrientes), valorización económica del balance y margen bruto ponderando la extracción de NPS del sistema. Arribeños, General Arenales. Campaña 2006/07.

## Formas de pago de publicaciones

### Argentina

- Giro Postal o Telegráfico, a través de Correo Argentino o Envío de dinero a través de Western Union.

Los datos para realizar su envío son los siguientes:

DESTINATARIO: Sra. Laura Nélide Pisauri - DNI: 17.278.707

DIRECCION: Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso – Buenos Aires – Argentina

AGENCIA DE CORREOS DE DESTINO: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

- Depósito Bancario en Banco Galicia, Cta.Cte. N° 3856/4 053/5 Sucursal Olivos a nombre de INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE.

- Transferencia Bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Suc. Olivos, Cta.Cte. N° 3856/4 053/5, CBU 0070053520000003856451 CUIT 30-70175611-4.

Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o e-mail, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (No.de giro y fecha, o datos de depósito o transferencia bancaria).

### Otros Países

Envío de dinero a través de Western Union, según instrucciones para el envío indicadas más arriba.

### Para adquirir las publicaciones de IPNI Cono Sur:

1. Además del costo de la/s publicaciones, deberá tener en cuenta los gastos de envío, que son variables de acuerdo al peso en gramos (g): hasta 100 g (equivale a 1 publicación) \$ 5.-; entre 100 - 500 g (equivalen a 3/5 publicaciones) \$ 15.00; entre 500 - 1000 g \$ 25.00 y de 1000-2000 g \$50.00.

2. Deberá enviarnos el comprobante de pago a nuestra oficina de IPNI Cono Sur por Fax: 011-4798-9939 o por mail a Lpisauri@ipni.net.

3. Indicar si solicita Factura A ó B, a nombre de quien extenderla, dirección completa y CUIT.

Ante cualquier consulta enviar mail a: Lpisauri@ipni.net o llamar al (54 - 011) 4798 9939/9988

## PUBLICACIONES DE IPNI

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal



Título de la Publicación (Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en <a href="http://www.ipni.net/lasc">www.ipni.net/lasc</a> )	Costo U\$S	Costo \$ argentinos
<b>REIMPRESION Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.</b> Este libro, editado por INTA (Argentina) con la colaboración de IPNI, contiene los principios y conceptos fundamentales de la fertilidad de suelos y del manejo de fertilización para numerosos cultivos.	20	60
<b>Simposio Fertilidad 2007.</b> Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	14	40
<b>La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005.</b> Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	3.5	10
<b>Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides.</b> Publicación de INIA La Platina (Chile) que discute los principales aspectos del manejo de potasio en frutales y vides, con énfasis en la situación del centro de Chile.	20	60
<b>Fertilización de forrajes en la región pampeana.</b> Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos en la región pampeana argentina. (Nueva edición en CD).	4	12
<b>Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente.</b> Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	10	30
<b>Síntomas de deficiencias nutricionales de trigo, maíz y soja.</b> Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	5	15
<b>Como se desarrolla una planta de soja.</b> Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
<b>Como se desarrolla una planta de maíz.</b> Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
<b>Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable.</b> Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	8	25
<b>Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina.</b> Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003 (98 pág.)	5	15
<b>Fertilidad 2002.</b> Trabajos presentados en la Cuarta Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Rosario (Argentina) en Mayo de 2002.	2.5	7.5
<b>Fertilidad 2001.</b> Trabajos presentados en la Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Julio de 2001.	2.5	7.5
<b>Fertilidad 2000.</b> Trabajos presentados en la Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Abril de 2000.	2.5	7.5

# XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

del 13 al 16 de Mayo de 2008  
en Potrero de los Funes, San Luis

Más información en

[www.fices.unsl.edu.ar/cacs2008](http://www.fices.unsl.edu.ar/cacs2008)

[www.suelos.org.ar](http://www.suelos.org.ar)



## Actividades

- Sesiones orales de trabajos
- Presentación de posters
- Cursos de corta duración
- Conferencias plenarias
- Visitas técnicas
- Gira edafológica
- Mesas redondas con participación de destacados investigadores de reconocimiento nacional, productores locales y representantes del gobierno provincial

## Áreas temáticas:

1. Física, Química y Fisicoquímica de Suelos; 2. Biología de Suelos; 3. Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal; 4. Manejo y Conservación de Suelos y Aguas. Riego y Drenaje; 5. Génesis, Clasificación, Cartografía y Mineralogía de Suelos; 6. Contaminación del Suelo y Calidad del Medio Ambiente; 7. Enseñanza de la Ciencia del Suelo.

Presentación de trabajos hasta el 18 de Marzo de 2008



## CONGRESOS, CURSOS Y SIMPOSIOS

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores

1

### XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

**Lugar y fecha:** Potrero de los Funes, San Luis (Argentina).  
13-16 Mayo 2008.

**Información:** [www.fices.unsl.edu.ar/cacs2008/](http://www.fices.unsl.edu.ar/cacs2008/) - [www.suelos.org.ar](http://www.suelos.org.ar)

### Conferencia Internacional de Agricultura de Precisión

**Lugar y fecha:** Denver (Colorado, EE.UU.). 20-23 Julio 2008.

**Información:** [www.icpaonline.org](http://www.icpaonline.org)

### XV Congreso Nacional de AAPRESID

**Lugar y fecha:** Rosario, Santa Fe. 12-15 Agosto 2008.

**Información:** AAPRESID. [www.aapresid.org.ar](http://www.aapresid.org.ar)

### V Simposio Internacional Interacciones de Minerales de Suelo con Componentes Orgánicos y Microorganismos

**Lugar y fecha:** Pucón, Chile. 26-30 Noviembre 2008.

**Información:** [www.ismom2008ufro.cl](http://www.ismom2008ufro.cl), [mariluz@ufro.cl](mailto:mariluz@ufro.cl)

### Frutic Chile 2009 - Información e ingeniería para la producción sustentable de frutas y hortalizas

**Lugar y fecha:** Concepción (Chile). 5-9 Enero 2009

**Información:** [www.frutic09.org](http://www.frutic09.org)

## Suscripción



Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas del Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:  
IPNI Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acassuso, Argentina  
Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: [Lpisauri@ipni.net](mailto:Lpisauri@ipni.net)

Nombre y Apellido: .....

Institución o Empresa: .....

Principal Actividad: .....

Calle: ..... Nro.: ..... C.Postal: .....

Localidad: ..... Provincia: .....

E-mail: ..... Teléfono: .....

¡MUCHAS GRACIAS!